بسم الله الرحمن الرحيم



دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

الإلكترونيات الصناعية

(النظري)

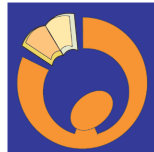
للصف الثاني الثانوي

الفرع الصناعي

المؤلفون

جهاد دريدي «منسقاً»
باسل عبد الحق
عثمان إرفاعية
يوسف شقير

إبراهيم محمود قدح «مركز المناهج»



قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين
تدريس كتاب الإلكترونيات الصناعية في مدارسها للعام الدراسي ٢٠٠٦ / ٢٠٠٧م

- **الإشراف العام**

رئيس لجنة المناهج: د. نعيم أبو الحمص

مدير عام مركز المناهج: د. صلاح ياسين

- **مركز المناهج**

إشراف تربوي : د.عمر أبوالحمص

- **الدارة الفنية**
- **إشراف إداري:** رائد بركات
- **تصميم:** عبد الجبار دويكات
- **الإعداد المحوسب للطباعة:** حمدان بحبوح
- **تصميم الغلاف:** كمال فحماوي
- **تدقيق لغوي:** أحمد الخطيب
- **تنضيد:** سمر عامر

الطبعة الأولى التجريبية
٢٠١٠ م / ١٤٣١ هـ

مركز المناهج – حي المصيون – شارع المعاهد – أول شارع على اليمين من جهة مركز المدينة
ص .ب ٧١٩ – رام الله – فلسطين
تلفون ٢٩٦٩٣٥٠-٢-٩٧٠+ ، فاكس ٢٩٦٩٣٧٧-٢-٩٧٠+
الصفحة الإلكترونية: www.pcdc.edu.ps – العنوان الإلكتروني: pcdc@palnet.com

تمهيد

رأت وزارة التربية والتعليم العالي ضرورة وضع منهاج يراعي الخصوصية الفلسطينية ؛ لتحقيق طموحات الشعب الفلسطيني حتى يأخذ مكانه بين الشعوب . إن بناء منهاج فلسطيني يعد أساساً مهمّاً لبناء السيادة الوطنية للشعب الفلسطيني ، وأساساً لترسيخ القيم والديمقراطية ، وهوحق إنساني ، وأداة تنمية للموارد البشرية المستدامة التي رسختها مبادئ الخطة الخمسية للوزارة .

وتكمن أهمية المنهاج في أنه الوسيلة الرئيسة للتعليم ، التي من خلالها تتحقق أهداف المجتمع ؛ لذا تولي الوزارة عناية خاصة بالكتاب المدرسي ، أحد عناصر المنهاج ؛ لأنه المصدر الوسيط للتعلم ، والأداة الأولى بيد المعلم والطالب ، إضافة إلى غيره من وسائل التعلم : الإنترنت ، والحاسوب ، والثقافة المحلية ، والتعلم الأسري ، وغيرها من الوسائط المساعدة .

لقد قامت وزارة التربية والتعليم العالي بإتمام مرحلة تأليف جميع الكتب المدرسية (١ -١٢)، التي تُوِّجَت بتطبيق كتب الصف الثاني الثانوي (١٢) بجميع فروعه : العلمي ، والعلوم الإنسانية ، والمهني ، والتقني ، مع بداية العام الدراسي(٢٠٠٦ / ٢٠٠٧) . وتعمل الوزارة حالياً على تنفيذ خطة تطوير شاملة في السنوات الثلاث القادمة ، تغطي أربعة مجالات ، وهي : أنشطة تطويرية (مراجعة جميع الكتب للصفوف ١ -١٢)، وأنشطة استكمالية (أدلة المعلم والوسائل المعينة) ، وأنشطة مستقبلية (دراسات تقويمية وتحليلية لمناهج المراحل الثلاث في جميع المباحث أفقياً وعمودياً)، وأنشطة موازية (توسيع البنية التحتية في مجال الشبكات والتعليم الإلكتروني، وتحسين آلية امتحان الثانوية العامة) .

وتعد الكتب المدرسية وأدلة المعلم التي أنجزت للصفوف الاثني عشر ، وعددها يقارب ٤٥٠ كتاباً ، ركيزة أساسية في عملية التعليم والتعلم ، بما تشتمل عليه من معارف ومعلومات عُرضت بأسلوب سهل ومنطقي ؛ لتوفير خبرات متنوعة ، تتضمن مؤشرات واضحة ، تتصل بطرائق التدريس ، والوسائل والأنشطة وأساليب التقويم ، وتتلاءم مع مبادئ الخطة الخمسية المذكورة أعلاه .

وتتم مراجعة الكتب وتنقيحها وإثراؤها سنويّاً بمشاركة التربويين والمعلمين والمعلمات الذين يقومون بتدريسها ، وترى الوزارة الطبعات من الأولى إلى الرابعة طبعات تجريبية قابلة للتعديل والتطوير ؛ كي تتلاءم مع التغيرات في التقدم العلمي والتكنولوجي ومهارات الحياة . إن قيمة الكتاب المدرسي الفلسطيني تزداد بمقدار ما يبذل فيه من جهود ، ومن مشاركة أكبر عدد ممكن من المتخصصين في مجال إعداد الكتب المدرسية ، الذين يحدثون تغييراً جوهريّاً في التعليم ، من خلال العمليات الواسعة من المراجعة ، بمنهجية رسخها مركز المناهج في مجالي التأليف والإخراج في طرفي الوطن الذي يعمل على توحيده .

إن وزارة التربية والتعليم العالي لايسعها إلا أن تتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى المؤسسات والمنظمات الدولية ، والدول العربية والصديقة وبخاصة حكومة بلجيكا ؛ لدعمها المالي لمشروع المناهج .

كما أن الوزارة لتفخر بالكفاءات التربوية الوطنية ، التي شاركت في إنجاز هذا العمل الوطني التاريخي من خلال اللجان التربوية ، التي تقوم بإعداد الكتب المدرسية ، وتشكرهم على مشاركتهم بجهودهم المميزة ، كلٌّ حسب موقعه ، وتشمل لجان المناهج الوزارية ، ومركز المناهج ، والإقرار ، والمؤلفين ، والمحررين ، والمشاركين في ورشات العمل ، والمصممين ، والرسامين ، والمراجعين ، والطابعين ، والمشاركين في إثراء الكتب المدرسية من الميدان أثناء التطبيق .

وزارة التربية والتعليم العالي
مركز المناهج
أيلول ٢٠٠٦ م

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الخلق والمرسلين سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم وعلى آله وصحبه اجمعين اما بعد :

فهذا هو كتاب علم الصناعة لمادة الإلكترونيات الصناعية للصف الثاني عشر . وقد تم في هذا الكتاب توسعة وتكملة المفاهيم الأساسية في مجال الإلكترونيات الصناعية التي لا بد من الإلمام بها للعاملين في هذا المجال بالإضافة إلى ذلك تم التركيز على كثير من الأنظمة الإلكترونية و التطبيقات الصناعية التي تستخدم في الحياة العملية والتي أصبحت موجودة في العديد من الأجهزة بحيث لا يكاد يخلو أي منزل أو مشغل أو مصنع من هذه التطبيقات .

يأتي هذا الكتاب في صفحة حيث تم تقسيمه إلى ست وحدات تغطي جانباً مهماً في هذا التخصص ففي الوحدة الأولى إلكترونيات القدرة تم استعراض أهم العناصر الإلكترونية المستخدمة في التحكم و نقل القدرة الكهربائية إلى الحمل مثل عائلة الثايرستور و ترانزستور معزول البوابة وكذلك بعض التطبيقات مثل دارة التحكم بشدة الإضاءة (المعتام) . أما في الوحدة الثانية فقد تم الحديث عن أنظمة العد والأسس المنطقية والدارات الرقمية (البوابات) المستخدمة في الدارات الإلكترونية والعدادات والمسجلات والنطاطات باختلاف أنواعها ، كذلك التحويل من الإشارة التماثلية إلى الرقمية والعكس ، أيضاً تم التطرق إلى المتحكمات الدقيقة والتي أصبحت تستخدم في كثير من الأجهزة مثل فرن الميكروويف . أما في الوحدة الثالثة فتم الحديث عن الإلكترونيات الضوئية كالعناصر الضوئية الإلكترونية مثل المقاومة الضوئية و الثنائي الضوئي والترانزيستور الضوئي والثايرستور الضوئي والخلايا الشمسية ووحدات العزل الضوئي وشاشات العرض الرقمية والألياف البصرية وتم التطرق إلى تطبيقات مثل دارات قياس السرعة وأجهزة الإنذار وأجهزة التحكم التي تعتمد على الضوء . و في الوحدة الرابعة استعرضنا عن الإلكترونيات الحرارية حيث تم التطرق إلى العناصر الحرارية مثل الإزدواج الحراري والكواشف الحرارية والثيرمستور وبعض المجسات الحرارية الخاصة و تم التطرق إلى بعض التطبيقات مثل أجهزة الإنذار الحراري و أجهزة التحكم في درجات الحرارة . في الوحدة الخامسة وللأهمية تم تناول أنظمة التحكم من حيث تصنيفاتها المختلفة و عناصرها الأساسية مثل أنظمة التحكم المفتوحة والمغلقة وأنواع المتحكمات و غيرها ، كما تم شرح مبدأ عمل وتوصيل المجسات المستخدمة في الآلات الصناعية مثل المفاتيح الحدية والتقاربية و مجسات هال ، بالإضافة إلى شرح عناصر ومكونات أنظمة التحكم الهوائية و تطبيقات عملية عليها مثل تشغيل الأسطوانات بواسطة الصمامات المختلفة باستعمال المفاتيح الحدية والمؤقتات . أما الوحدة السادسة فتتعلق بالمتحكم المنطقي المبرمج حيث تم شرح مكونات الجهاز الأساسية و من ثم شرح كيفية برمجة الأوامر الأساسية و المؤقتات المختلفة و العدادات و المقارنات بواسطة المخططات السلمية أو قائمة الإجراءات وفي نهاية الوحدة تم شرح عدة تطبيقات عملية صناعية تتعلق بالمتحكم المنطقي المبرمج .

و اخيراً و ليس آخراً فإننا نضع بين أيدي زملائنا و معلمينا هذا الجهد المتواضع راجين الله عز و جل أن نكون قد و فقنا في طرح المفاهيم بما يتناسب و روح العصر . كما نرجو أن لا يبخل علينا زملاؤنا والمهتمون بهذا المجال بما لديهم من ملاحظات و آراء عن محتويات و طريقة طرح مواضيعه لما فيه الفائدة لأبنائنا الطلبة ، و لهم منا جزيل الشكر والعرفان .

المؤلفون

والله ولي التوفيق

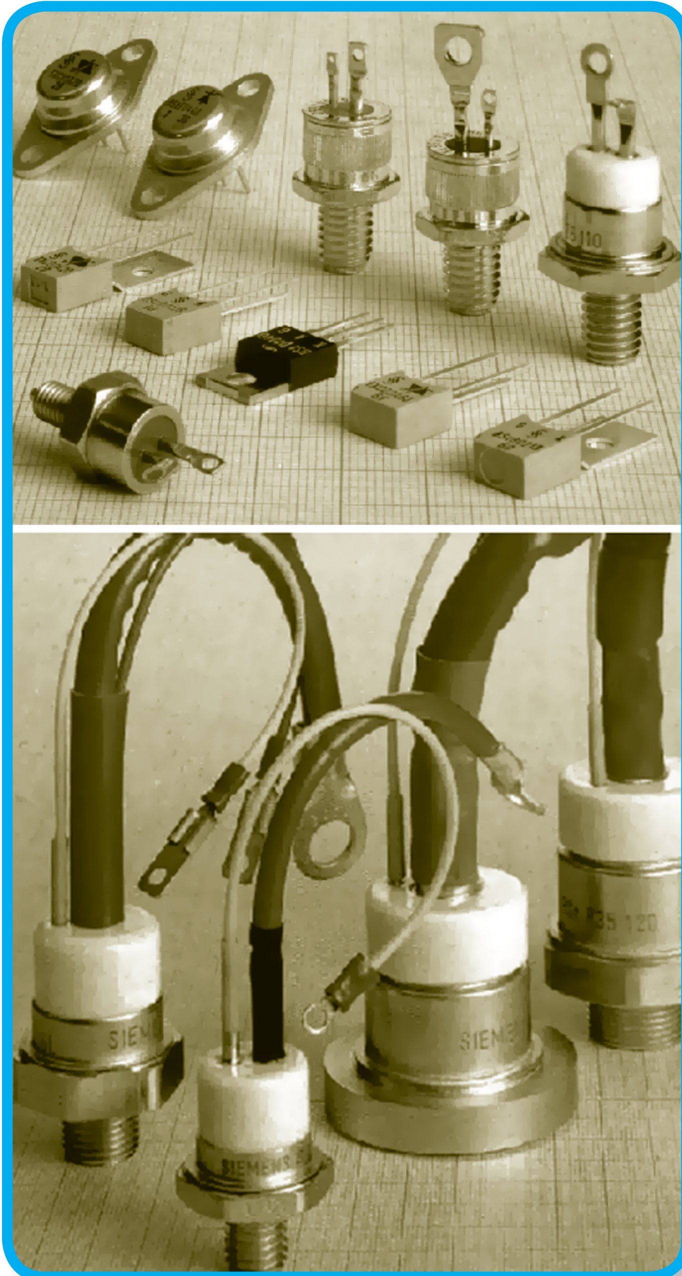
المحتويات

الوحدة

١

الكترونيات القوى

(Power Electronics)



الكترونيات القوى (Power Electronics)

في هذه الوحدة سنتناول موضوع إلكترونيات القوى (Power Electronics) حيث سنتعرف على العناصر الإلكترونية التي تستعمل في أنظمة التحكم بالقدرة الكهربائية. لقد سهلت هذه العناصر من التحكم بالقدرة المنقولة للأحمال الكهربائية، وقللت من حجم دارات التحكم وتكلفتها، واستحوذت على دور كبير في مجال الإلكترونيات الصناعية. ومن بين هذه العناصر سنتناول عائلة الثايرستور(Thyristor) وترانزستور ثنائي القطبية معزول البوابة (IGBT) .

أولاً: عائلة الثايرستور

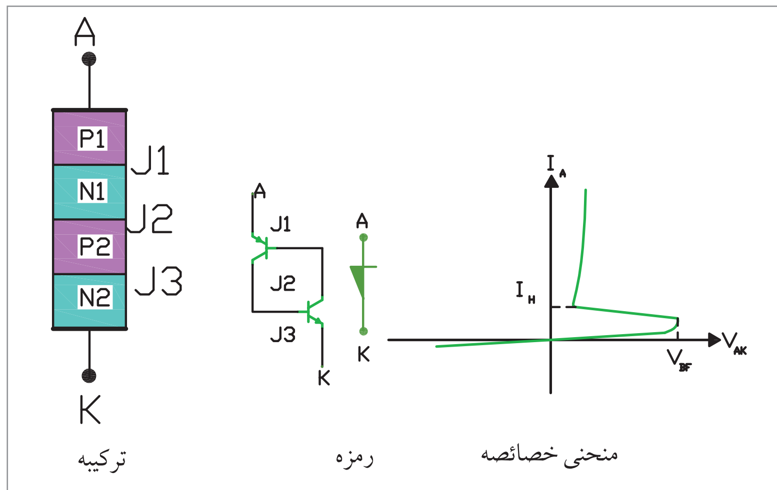
وهي عائلة من القطع الإلكترونية التي تتركب من أربع طبقات شبه موصلة (pnpn) مثل ثنائي شوكلي Shockley Diode، والمقوم السيلكوني المحكوم Silicon Controlled Rectifier SCR، والمفتاح السيلكوني المحكوم Silicon Controlled Switch SCS، والدياك (Diac) والترياك (Triac).

وهذه الثايرستورات المختلفة تتشارك بالإضافة إلى تركيبها رباعي الطبقات في أنها تكون ذات مقاومة عالية(دارة مفتوحة) إلا أنه يؤثر عليها بجهد معين حتى تقدح، وعند قدحها تصبح مقاومتها صغيرة، وتبقى كذلك حتى يقل التيار المار فيها عن قيمة معينة، وبذلك يتم إطفاؤها ويعتمد ذلك على نوع العنصر.

تستعمل الثايرستورات للتحكم في مقدار القدرة المنقولة إلى حمل كهربائي ومثال ذلك التحكم بشدة الإنارة، التحكم بسرعة المحركات، أنظمة الاشتعال، وأنظمة الشحن، وتدخل أيضا في بناء المذبذبات ودارات التوقيت... الخ.

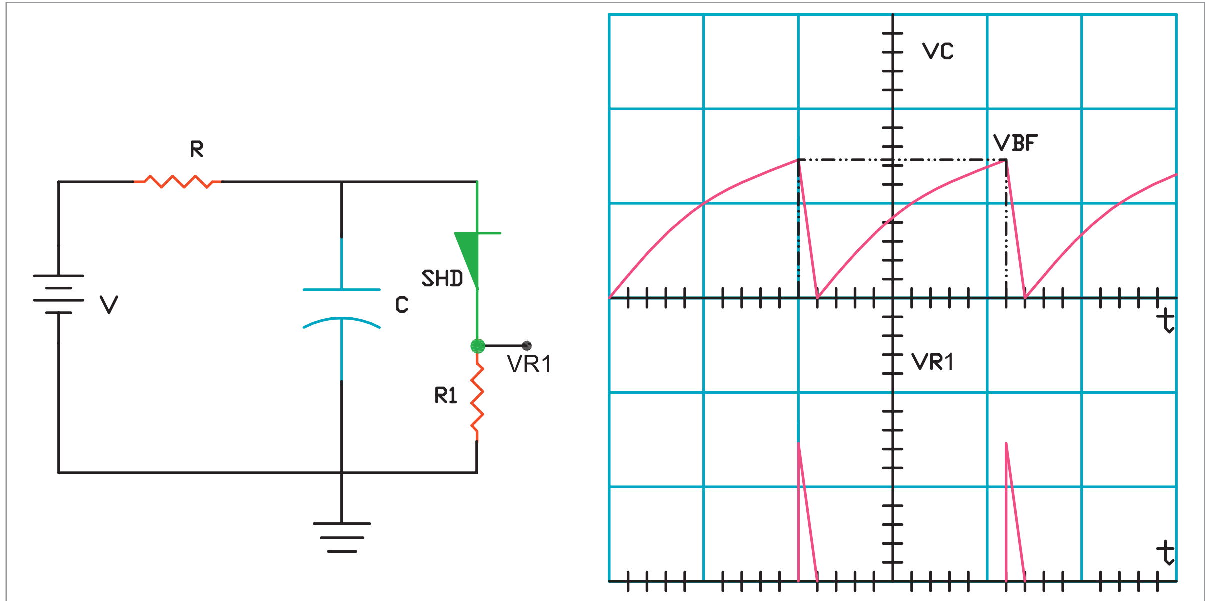
١- ثنائي شوكلي (Shockley Diode)

يعدّ ثنائي شوكلي أحد أنواع الثايرستور، ويتركب من أربع طبقات من شرائح شبه موصلة (pnpn)، وله طرفان هما المصعد والمهبط ويبين الشكل (١) تركيبه ورمزه ومنحنى خصائصه، ويمكن تمثيله بنموذج ترانزستوري كما في الشكل (١).



شكل (١)

يتم وضعه في حالة الوصل بزيادة الجهد الأمامي الموصول بين المصعد والمهبط، بحيث يكون المصعد موجباً بالنسبة للمهبط إلى قيمة تعرف بجهد الانهيار الأمامي، ويتم إطفاؤه بتقليل التيار الأمامي فيه عن حد معين يعرف بتيار الاستمرار بالتوصيل Holding Current I_h، ومن تطبيقاته مذبذب التراخي المبين في الشكل (٢).



شكل (٢)

عند تشغيل الدارة يبدأ المكثف C بالشحن من خلال المقاومة R إلى أن يصل فرق الجهد عليه إلى قيمة جهد الانهيار الأمامي لثنائي شوكلي، عندئذ يتحول الثنائي إلى حالة الوصل، حيث يفرغ المكثف شحنته سريعا خلال الثنائي والمقاومة R_1، ويستمر التفريغ إلى أن يقل التيار المار في الثنائي عن تيار الاستمرار بالتوصيل، حيث يتحول الثنائي إلى حالة الفصل، ويولد تيار التفريغ جهداً نبضياً على المقاومة R_1 ويعود المكثف دورة شحن جديدة وهكذا.

٢- المقوم السيلكوني المحكوم

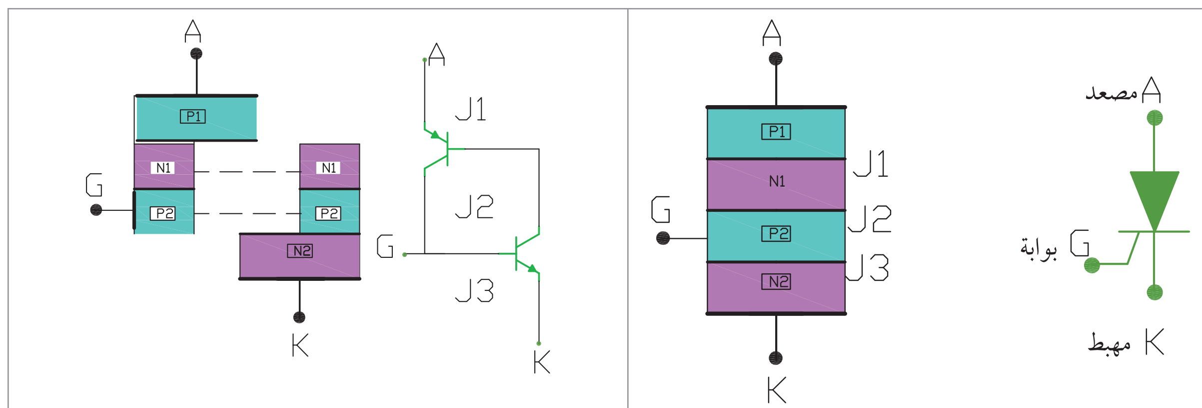
يعد المقوم السيلكوني المحكوم (Silicon-Controlled Rectifier) ويشار إليه بالأحرف (SCR) من أهم عناصر عائلة الثايرستور، وتعود أهميته لكونه يتحمل مرور تيارات عالية؛ مما ساعد على انتشار تطبيقاته، ويكافئ مفتاح ثلاثي الأطراف أحادي الاتجاه (المصعد والمهبط والبوابة) يمرر التيار الكهربائي في اتجاه واحد من المصعد إلى المهبط، حيث يتم التحكم بتشغيله بواسطة البوابة، وكونه من أهم عناصر العائلة أصبح يشار إليه باسم العائلة(ثايرستور) بحيث عندما يقال ثايرستور يكون المقصود المقوم السليكوني المحكوم بالبوابة.

تركيب الثايرستور :

يتكون الثايرستور من أربع طبقات من شرائح شبه موصلة كما في الشكل(٣-أ) يطلق على الطبقة الموجبة P1 طبقة المصعد، وتتصل بطرف توصيل خارجي يسمى المصعد(Anode) وعلى الطبقة السالبة N1 التي تليها بطبقة

الحجز ، ومن ثم طبقة التحكم P2 ، وتتصل بطرف خارجي يسمى البوابة (Gate) وأخيرا الطبقة السالبة N2 ويطلق عليها طبقة المهبط ، وتتصل بطرف توصيل خارجي يسمى المهبط (Cathode)

ويمكن تمثيل الثايرستور لتسهيل دراسته بترانزستورين موصولين معاً كما في الشكل(٣-ب)



شكل (٣-أ) شكل (٣-ب)

من الشكل نلاحظ أنه إذا كان جهد المصعد موجباً وجهد المهبط سالباً فإنه لا يمر فيه تيار ، ولتشغيله يجب وضع كلا الترانزستورين في وضع التوصيل ، وذلك من خلال جهد مناسب على البوابة(G) حيث يدخل الترانزستور T2 في حالة التوصيل ويكون تيار مجمعه بمثابة تيار قاعدة للترانزستور T1 الذي بدوره يدخل في التوصيل ، فيكتمل مسار التيار من المصعد إلى المهبط ، ويفسر ذلك فيما يلي :

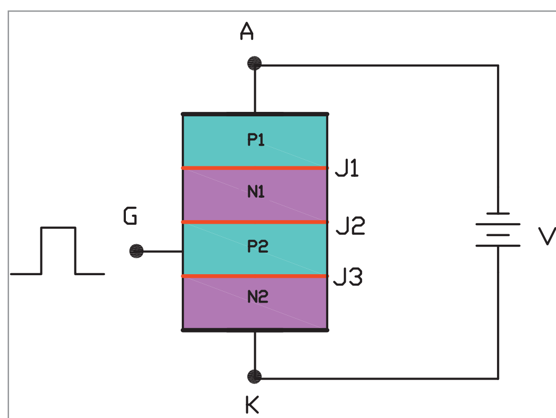
«لنفترض أن جهد المصعد كان موجباً وجهد المهبط سالباً ولا وجود لجهد على البوابة ، فإن المجال الكهربائي سيكون موزعاً في داخل الشريحة . تكون وصلة J_1 (P_1N_1) كما في الشكل (٣-أ) في حالة انحياز أمامي ، تكون وصلة J_2 (N_1P_2) في الوسط في حالة انحياز عكسي ، وأخيراً تكون وصلة J_3 (P_2N_2) في حالة انحياز أمامي . ويمكن اعتبار الشرائح الثلاث $N_1P_2N_2$ على أنها npn ترانزستور ، والشرائح الثلاث $P_1N_1P_2$ على أنها pnp ترانزستور ، فعند التأثير بفرق جهد موجب على البوابة ، فإن الإلكترونات من المهبط تتحرك عبر الشريحة الموجبة P_2 إلى الشريحة السالبة الداخلية N_1 . ومن الشريحة السالبة يسمح للإلكترونات بالحركة عبر الوصلة P_1N_1 كونها في حالة انحياز أمامي .

خصائص الثايرستور

يكون الثايرستور في إحدى ثلاث حالات تحدد بواسطة عناصر ومتغيرات الدارة وهي :

منطقة الحجز العكسي :

يكون جهد المصعد(A) سالبا بالنسبة للمهبط(K)، كما في الشكل (٤) وعليه تكون الوصلة J_2 في حالة انحياز أمامي بينما تكون الوصلتان J_3 ، J_1 في حالة انحياز عكسي



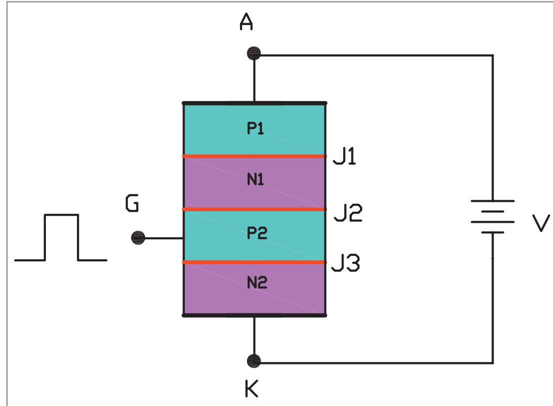
شكل (٤)

مما يجعلهما تمانعان مرور التيار من المهبط إلى المصعد، ولا يمر في الثايرستور سوى تيار صغير جداً يعرف بتيار التسرب العكسي الذي يعتمد على درجات الحرارة.

وإذا زاد فرق الجهد المسلط على طرفي الثايرستور عن قيمة معينة تعرف بجهد الانهيار العكسي(V_R) فإن تياراً عكسياً عالي القيمة يمر فيه بشكل مفاجئ قد يؤدي إلى تلفه.

منطقة الحجز الأمامي:

يكون جهد المصعد موجباً بالنسبة لجهد المهبط وبفرق جهد أقل من جهد محدد يعرف بجهد الانهيار الأمامي، كما في الشكل (٥) حيث تكون الوصلتان J_1، J_3 في حالة انحياز أمامي، في حين تكون الوصلة J_2 في حالة انحياز عكسي ذات مقاومة عالية، حيث تعيق مرور التيار، فلا يمر سوى تيار صغير جداً يعرف بتيار التسرب الأمامي، فيكون الثايرستور في حالة الحجز الأمامي على فرض أن تيار البوابة يساوي صفرا.



شكل (٥)

منطقة التوصيل الأمامي:

إذا زاد فرق الجهد على طرفي الثايرستور عن جهد الانهيار الأمامي فإن مقاومة الوصلة J_2 تقل مما يسمح للتيار بالمرور خلال الثايرستور، ويرافق زيادة التيار نقصان في الجهد على طرفي الثايرستور إلى أن يصل إلى 2V تقريباً، وفي هذه المنطقة يتصرف الثايرستور كمقاومة سالبة، كما في الترانزستور أحادي الوصلة. وينتقل عندها إلى منطقة التوصيل الأمامي، نلاحظ هنا أن بإمكان الثايرستور الانتقال إلى منطقة التوصيل الأمامي دون الحاجة إلى البوابة. ولكن ما دور البوابة في الثايرستور؟

إن حقن تيار(قدح) على طرف البوابة المتصلة إلى منطقة الوصلة J_2 (المنحازة عكسيا) يعمل على تقليل مقاومتها، حيث تسمح بمرور التيار من المصعد إلى المهبط، عند جهد انهيار أمامي اقل من جهد الانهيار الأمامي الاسمي، ويتناسب تيار البوابة عكسيا مع جهد الانهيار الأمامي.

في تطبيقات التحكم التي تستخدم الثايرستور يكون الجهد المطبق أقل من جهد الانهيار الاسمي، حيث يترك مجال للتحكم بعملية الوصل بواسطة البوابة التي تفقد تأثيرها حال انتقال الثايرستور إلى حالة الوصل.

فصل الثايرستور:

إذا كان الثايرستور في منطقة التوصيل فإنه لا يمكن إعادته إلى منطقة الحجز الأمامي أو منطقة الحجز العكسي بواسطة البوابة، ويمكن إطفاؤه بتقليل التيار المار فيه عن قيمة محددة تعرف بتيار الاستمرار بالتوصيل(Holding Current I_h) ويطلق على عملية تحويل الثايرستور من الوصل إلى الفصل بعملية التبديل (Commutation). وهذه الخاصية تجعله

ملائماً لتطبيقات التحكم في دارات التيار المتناوب ؛ لأن الجهد المتناوب يهبط إلى الصفر بشكل طبيعي ، وبذلك يتم إطفاء الثايرستور تلقائيا .

تيار الإمساك (البدء بالتوصيل) (Latching Current I_L) :

ويعبر عن قيمة تيار المصعد الذي يتحول عنده الثايرستور من منطقة الحجز الأمامي إلى منطقة التوصيل الأمامي . وقيمته تتناسب عكسياً مع تيار البوابة ، وأعلى قيمة له عندما يكون $I_G = 0$.

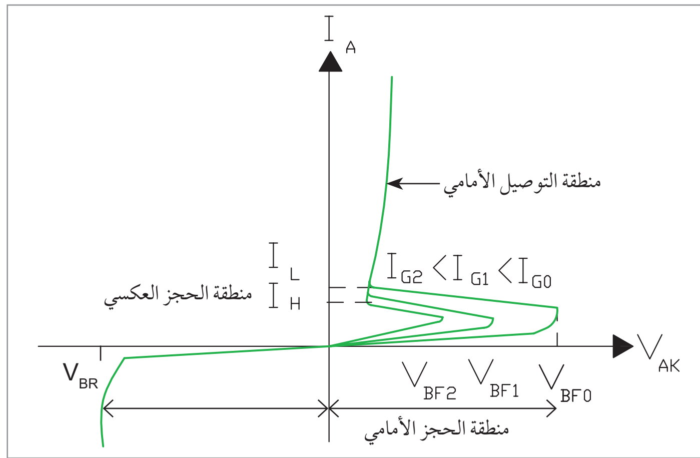
تيار الاستمرار بالتوصيل (Holding Current I_h) :

ويعبر عن قيمة تيار المصعد التي يتحول عندها الثايرستور من منطقة التوصيل الأمامي إلى منطقة الحجز الأمامي .

تيار القدح (I_{GT}) :

ويعبر عن قيمة تيار البوابة اللازم لقدح الثايرستور من منطقة الحجز الأمامي إلى منطقة التوصيل الأمامي

ويبين الشكل (٦) منحنى الخصائص للثايرستور .



شكل (٦)

قدح الثايرستور :

يقصد بالقدح نقل الثايرستور من منطقة الحجز الأمامي إلى منطقة التوصيل الأمامي ، وينتقل الثايرستور إلى منطقة التوصيل الأمامي بإحدى الطرق الآتية :

- **الحرارة :** إذا زادت درجة حرارة الثايرستور ، فإن تيار التسرب الأمامي يزداد نتيجة توليد أزواج إضافية من الإلكترونات والفجوات ، وإذا زاد هذا التيار عن حد معين فإن الثايرستور ينتقل من منطقة الحجز الأمامي إلى منطقة التوصيل الأمامي .
- **الضوء :** إذا تعرض الثايرستور للضوء ، فإن تيار التسرب الأمامي يزداد ، نتيجة توليد أزواج إضافية من الإلكترونات والفجوات ، وإذا زاد هذا التيار عن حد معين فإن الثايرستور ينتقل من منطقة الحجز الأمامي إلى منطقة التوصيل الأمامي . ويوجد ثايرستورات ضوئية (LASCR) حيث يزود الثايرستور بعدسة تعمل على تركيز الضوء على وصلة البوابة ، ويعمل الضوء بدل تيار البوابة على قدح الثايرستور .
- **زيادة الجهد الأمامي :** إذا زاد فرق الجهد المطبق بين المصعد والمهبط عن قيمة محددة (جهد الانهيار الأمامي) فإن الثايرستور ينتقل إلى منطقة التوصيل الأمامي .
- **زيادة معدل تغير الجهد الأمامي :** عند زيادة معدل تغير فرق الجهد بين المصعد والمهبط ، فإن هذا التغير

المفاجئ يؤدي إلى مرور تيار من خلال الوصلة J_2 المنحازة عكسيا التي تكافئ مكثفا يعتمد التيار المار فيه على معدل تغير الجهد عليه ، فإذا كان معدل التغير كافياً فإن الثايرستور سينتقل إلى منطقة التوصيل الأمامي . ولا تستخدم هذه الطريقة في عملية القدح ، ولكن تغيرات مفاجئة في الدارة الكهربائية نتيجة الفتح والإغلاق تؤدي إلى قدح الثايرستور في أوقات غير مناسبة ، وإذا زاد معدل التغير عن حد يحدده المصنع (10-200V \Sec) فإنه سيؤدي إلى تلف الثايرستور ، وهناك دارات مناسبة تضاف إلى دارات الثايرستور لإخماد هذه التغيرات المفاجئة تعرف بدارات الإخماد(Snabber Circuit)

- **البوابة :** تعدّ عملية القدح بالبوابة من أهم طرق القدح وأكثرها استعمالا ، وتهدف عملية القدح إلى حقن كمية كافية من التيار إلى طرف البوابة ، تعمل على تحيز الوصلة J2 أماميا ، وبالتالي تحويل الثايرستور إلى حالة التوصيل ، ولتتم عملية القدح وجب توفر الشرطين الآتيين :

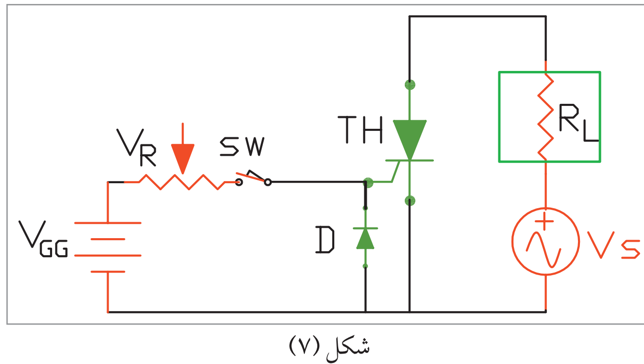
١ . أن يكون جهد المصعد موجباً بالنسبة للمهبط .

٢ . توفر نبضة قدح موجبة مناسبة على بوابة الثايرستور .

- **وفيما يلي بعض الطرق المستخدمة في قدح الثايرستور : -**

القدح بالتيار المستمر :

يبين الشكل(٧) دارة لقدح الثايرستور، حيث تتكون الدارة من مصدر للتيار المستمر، مقاومة ومفتاح لوصل دارة البوابة أو لفصلها، ففي النصف الموجب لمصدر تغذية الحمل وعند إغلاق المفتاح توصل البوابة بجهد موجب؛ مما يؤدي إلى قدح الثايرستور، وبالتالي مرور تيار في الحمل ، أما في النصف السالب فيتوقف



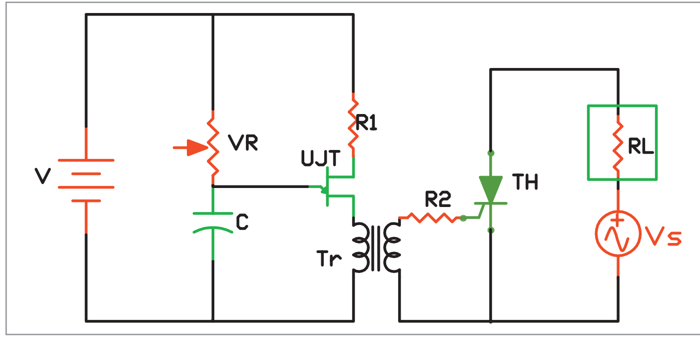
شكل (٧)

الثايرستور عن التوصيل ؛ لأن جهد المصعد يصبح سالب القيمة ، ويوصل الثنائي (D) لحماية وصلة البوابة من الجهد العكسي ، ويعاود الثايرستور التوصيل مرة أخرى في النصف الموجب نظراً لبقاء نبضة القدح الموجبة ، وهذه الطريق تستخدم على نطاق ضيّق في دارات ذات قدرات قليلة نظرا لعدم إمكانية عزل دارة البوابة عن دارة الحمل ذات القدرة العالية ، وكذلك بسبب القدرة المبددة في دارة البوابة على الدوام .

القدح بالنبضات :

حيث يتم قدح الثايرستور بواسطة نبضة أو مجموعة من النبضات ، حيث يتم الحصول على النبضات بواسطة دارة القدح ، وهي عبارة عن مذبذب متعدد الاهتزاز يسمح بالتحكم بتردد نبضة القدح وعرضها ، ومن ميزات هذه الطريقة تقليل القدرة المبددة في دارة البوابة ، بالإضافة إلى إمكانية عزل دارة البوابة عن دارة

الحمل، يبين الشكل(٨) دارة قدح تستخدم مذبذب التراخي. وفي هذه الطريقة يمكن التحكم بزمن توقيت تطبيق نبضة القدح على البوابة؛ حيث يمكن تقديم وصول النبضة أو تأخيرها وبالتالي التحكم في قدح الثايرستور، وتعرف زاوية القدح أو زاوية الإشعال بزاوية تأخير تطبيق نبضة القدح على البوابة بالنسبة إلى اللحظة التي يتحول فيها الثايرستور إلى حالة التوصيل الأمامي ويرمز لها بالرمز (α) وتتراوح قيمتها من 180° - 0.

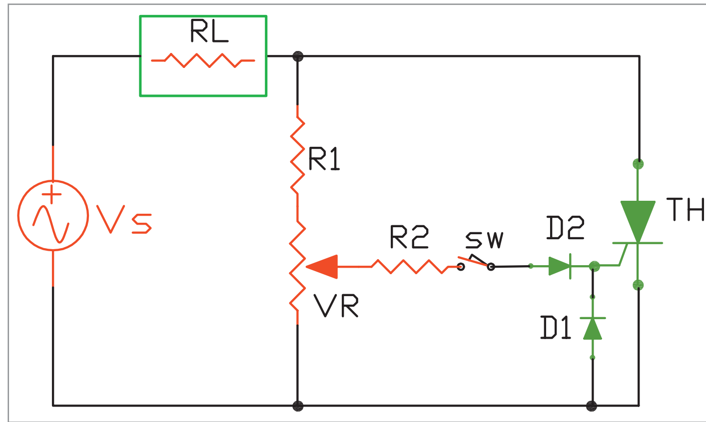


شكل (٨)

القدح بالتيار المتناوب:

حيث يستعمل نفس مصدر التغذية للحصول على إشارة القدح المناسبة لقدح الثايرستور، حيث يتم تخفيض الجهد المتناوب إلى قيمة مناسبة بواسطة مجموعة من المقاومات.

ففي النصف الموجب يتم الحصول على قيمة مخفضة للجهد المتناوب بواسطة مجموعة من المقاومات، ويستعمل الثنائي (D_2) لحجب الجهد السالب عن البوابة التي تصل متزامنة مع وجود الجهد الموجب على مصعد الثايرستور، حيث يتم الحصول على توصيل تام في النصف الموجب، أما في النصف السالب فإن الثايرستور لا يمرر تياراً، ويبين الشكل(٩) إحدى دارات القدح بواسطة التيار المتناوب، وفي مثل هذه الطريقة يمكن التحكم بزاوية القدح لغاية 90 درجة فقط.



شكل (٩)

طرق التبديل:

يقصد بالتبديل انتقال الثايرستور من منطقة التوصيل الأمامي إلى منطقة الحجز الأمامي أو منطقة الحجز العكسي، فعند قدح الثايرستور ينتقل إلى منطقة التوصيل الأمامي، ويبقى كذلك طالما بقي التيار المار فيه أكبر من تيار الاستمرار بالتوصيل، وتتم عملية التبديل بتوفر أحد الشرطين الآتيين:

- أن ينخفض التيار المار فيه عن قيمة تيار الاستمرار في التوصيل.
- أن يمرر جهد عكسي على طرفيه لفترة زمنية كافية لمعادلة الشحنات المكتسبة أثناء التوصيل. وفي دارات الثايرستور يكون التبديل إما طبيعياً أو قسرياً.

التبديل الطبيعي :

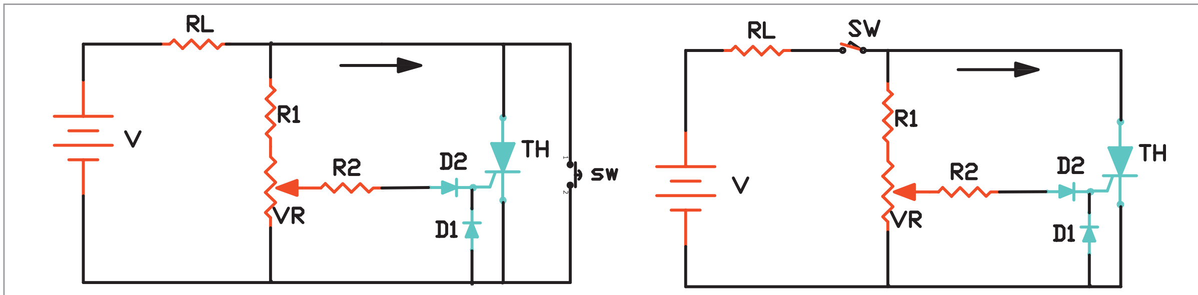
يبرز التبديل الطبيعي في دارات التيار المتناوب، حيث إن شرطي التبديل يتحققان ذاتياً نتيجة تحول الجهد المتناوب بين نصف الموجة الموجب والنصف السالب، ففي النصف الموجب يمكن قدح الثايرستور بزاوية قدح بين $0\text{-}180^{\circ}$ ، وعند انتهاء النصف الموجب يصبح الجهد على المصعد سالبا، وبذلك يتحقق شرط تطبيق جهد سالب القيمة على أطراف الثايرستور، أما شرط التيار فيعتمد على طبيعة الحمل، فإذا كان الحمل أومياً فإنه يتوقف عن السريان بمجرد انتهاء النصف الموجب للموجة المصدر، أما إذا كان حملاً حثياً فإن التيار يستمر بالسريان بعد انتهاء نصف الموجة الموجب كون التيار في الحمل الحثي يتأخر عن الجهد بزاوية معينة تسمى زاوية الإطفاء، ويرمز لها بالرمز β، ويوضح الشكل (١٠) التبديل الطبيعي في الحمل الأومي والحمل الحثي.

شكل (١٠)

التبديل القسري :

يبرز التبديل القسري في دارات التيار المستمر نظراً لعدم تغير قطبية جهد المصدر على طرفي الثايرستور حيث يبقى المصعد موجباً والمهبط سالباً باستمرار، وبالتالي ما أن يتم قدح الثايرستور لا يمكن إطفاؤه إلا باستعمال مؤثرات خارجية تتمثل بربط دارات خارجية بدارة الثايرستور الرئيسية، حيث تعمل هذه الدارات على إطفاء الثايرستور، وهذه الدارات على اختلاف تركيبتها تعمل على مبدأ واحد، يتمثل بتقليل التيار المار بالثايرستور إلى قيمة أقل من تيار الاستمرار بالتوصيل، ومن هذه الدارات نذكر ما يلي :

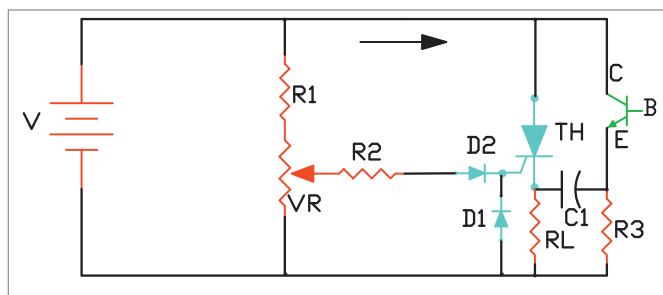
- **استخدام المفاتيح** : يمكن استخدام المفاتيح لغرض فصل دارة الثايرستور وبالتالي إطفاؤه، ويتم ربط المفتاح إما على **التوالي** مع دارة الثايرستور كما في الشكل(١١-أ).



شكل (١١-ب) شكل (١١-أ)

فعند الضغط على المفتاح يتم فصل التيار المار في الثايرستور مما يؤدي إلى إطفائه، أو يتم وصل المفتاح على **التوازي** مع الثايرستور كما في الشكل(١١-ب) فعند الضغط على المفتاح يتحول التيار للمرور من خلال المفتاح، حيث يتناقص التيار المار في الثايرستور، وبالتالي يتم إطفاؤه، يمكن أن يكون المفتاح ميكانيكياً أو إلكترونياً، وذلك يعتمد على العملية الصناعية، وتفضل المفاتيح الإلكترونية التي تمتاز بالعديد من المزايا من أهمها سرعتها العالية .

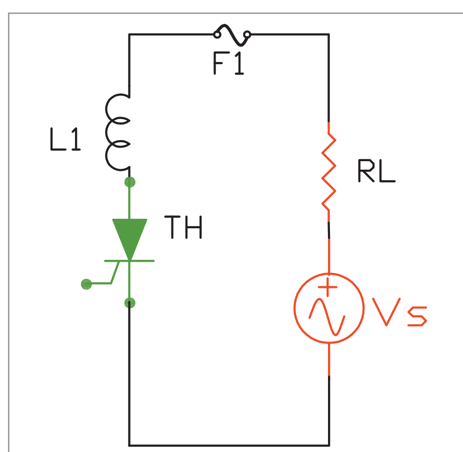
- **استخدام المكثف :** يستخدم المكثف كعنصر أساسي في عمليات إطفاء الثايرستور، ويتلخص دوره بتوفير جهد ذي قطبية معاكسة تؤثر على مصعدالثايرستور، ويبين الشكل(١٢) دارة إطفاء تستخدم مكثفاً مع مفتاح ترانزستوري، عندما يكون الثايرستور في حالة وصل والترانزستور في حالة فصل يتم شحن المكثف إلى قيمة مصدر التغذية بقطبية كما في الشكل، وعند الحاجة لإطفاء الثايرستور يتم تشغيل المفتاح الترانزستوري بواسطة جهد قاعدة مناسب، فيتم تطبيق جهد المكثف عكسياً على مصعد الثايرستور، حيث يتوقف الثايرستور عن التوصيل .



شكل (١٢)

- **حماية الثايرستور :** عادة ما يحدث التغير المفاجئ في التيار أو في الجهد إلى عطب الثايرستور؛ ولذلك يحتاج الثايرستور إلى عناصر حماية توصل بدارته للحماية من فرط التيار أو الجهد .

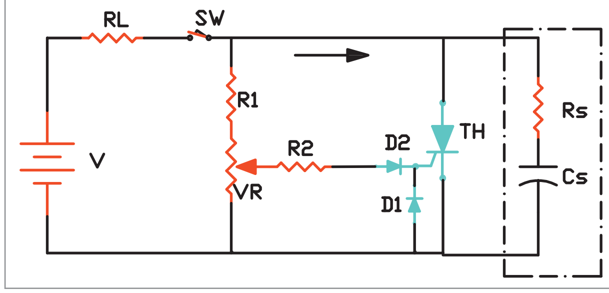
- **الحماية من التيار :** يزداد التيار المار في الثايرستور نتيجة حدوث قصر على الحمل أو زيادة فيه، فإذا استمر هذا الوضع لفترة زمنية كافية، فإن الحرارة الزائدة الناتجة عن مرور تيار عالٍ ستعمل على إتلاف الثايرستور، وللتغلب على ذلك يتم وصل مصهر خاص على التوالي مع الثايرستور بمحددات أقل من تلك التي للثايرستور لضمان فصل المصهر قبل تلف الثايرستور، ويوصل أيضا ملف على التوالي للتغلب على معدل تغير التيار المار في الثايرستور كما في الشكل (١٣).



شكل (١٣)

- **الحماية من معدل التغيير في الجهد :** إذا ما ارتفع الجهد المطبق على الثايرستور نتيجة لتغير ظروف العمل مثل فتح القواطع الكهربائية وإغلاقها، أو تغير الأحمال الكهربائية، فإن هذه الزيادة ولو كانت لحظية

قد تؤدي إلى تلف الثايرستور، ولحمايته توصل دارة إخماد Snubber Circuit على التوازي مع الثايرستور كما في الشكل (١٤) مكونة من مكثف موصول على التوالي مع مقاومة.



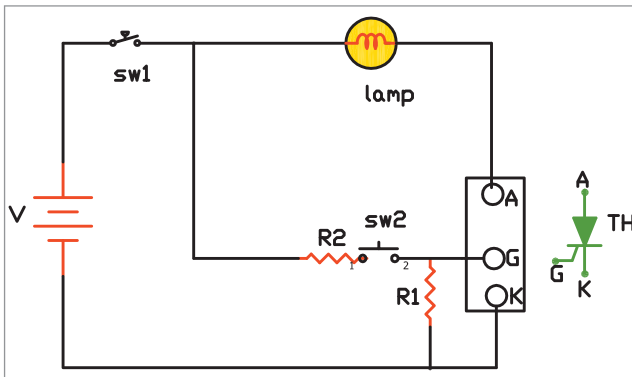
شكل (١٤)

- **يتلخص عمل دارة الإخماد فيما يلي :**

«عند حدوث تغير في الجهد المطبق على الثايرستور فإن تياراً يمر في دارة الإخماد يعتمد على سعة المكثف ومعدل التغير في الجهد(تيار المكثف) بمعنى أن التيار الإضافي الناتج عن ارتفاع قيمة الجهد تم تمريره من خلال المكثف وليس من خلال الثايرستور، وهذه وظيفة المكثف، أما المقاومة فيتلخص دورها عند انتقال الثايرستور إلى منطقة الحجز الأمامي أو الحجز العكسي، حيث يفرغ المكثف شحنته من خلالها فتعمل على خفض قيمة تيار التفريغ، وتختار بقيمة صغيرة بحيث لا تعيق مرور التيار عند تغير قيمة الجهد المطبق.

فحص الثايرستور وتحديد صلاحيته:

يمكن تحديد أطراف الثايرستور بواسطة جهاز الملتيميتر، وذلك بوضع الجهاز على وضعية فحص الثنائي، ثم توصل أطراف الجهاز بين كل طرفين من أطراف الثايرستور، ثم نقوم بتبديل توصيل أطراف جهاز الفحص مع أطراف الثايرستور إلى أن نحصل على قراءة منخفضة فيكون طرف الجهاز الموجب موصولاً مع البوابة، والطرف السالب موصولاً مع المهبط، أما الطرف المتبقي فهو المصعد، وهذه الطريقة لا تنطبق على كل الثايرستورات، حيث تكون وصلة بوابة المهبط صغيرة جداً؛ مما يجعل المقاومة بين البوابة والمهبط قليلة بالاتجاهين، وبالتالي يصعب تحديد البوابة من المهبط إلا باستخدام كتاب المواصفات لتحديد الأطراف، وتلجأ بعض الشركات المصنعة للثايرستور لتمييز طرف البوابة. وعند تلف الثايرستور يتحول إما إلى دارة قصر، حيث تكون المقاومة منخفضة بين المصعد والمهبط بالاتجاهين، أو إلى دارة مفتوحة بحيث تكون المقاومة عالية جداً بين المصعد والمهبط في كلا الاتجاهين، وفي مثل هذه الحالة لا يمكن تحديد ما إذا كان الثايرستور معطوباً أم لا؛ ولذلك يتم فحصه بواسطة جهاز فحص، وهو عبارة عن دارة كهربائية كما في الشكل (١٥) لفحص الثايرستور، فعند إغلاق المفتاح SW_1 يتم توفير نبضة قدح للثايرستور، فإذا كان الثايرستور سليماً يضيء المصباح. أما إذا كان الثايرستور في حالة قصر فإن المصباح يضيء دون الضغط على المفتاح (SW_2).



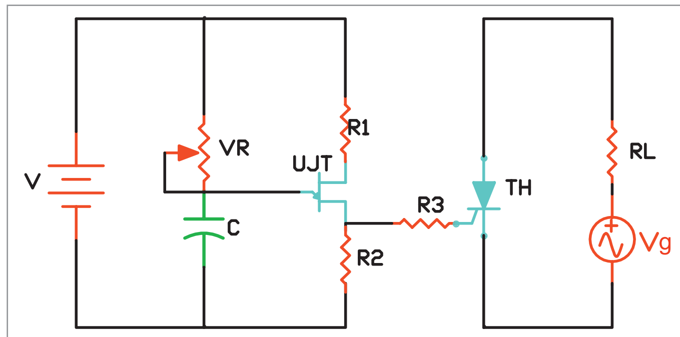
شكل (١٥)

دارات قدح الثايرستور:

تصنف دارات قدح الثايرستور حسب طريقة القدح إلى طريقتين هما :

دارات قدح الثايرستور غير المتزامنة :

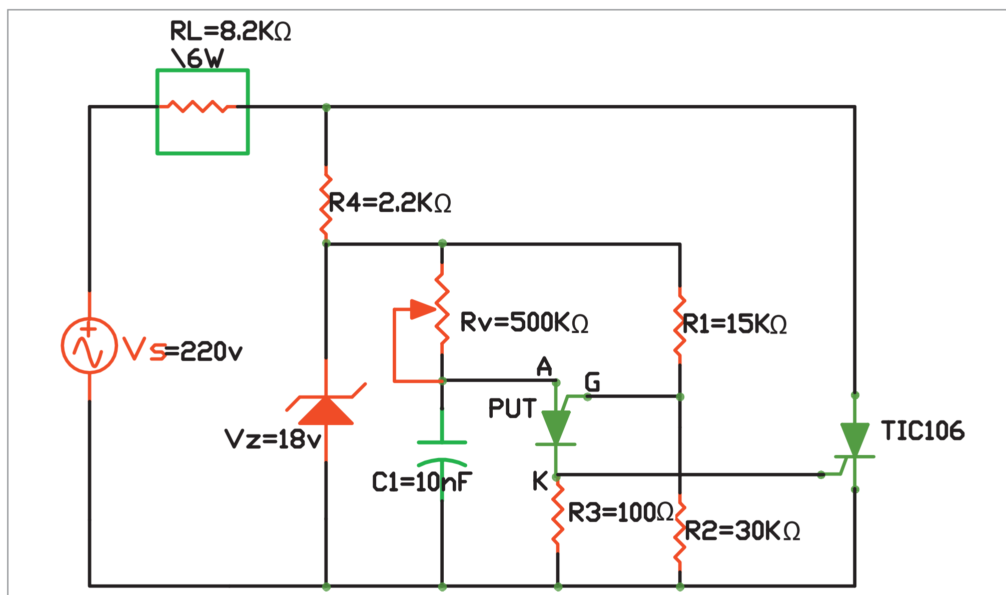
في هذه الدارات لا يوجد تزامن بين تأثير نبضة القدح على بوابة الثايرستور وبين مصدر التغذية المتناوب، بحيث إن دارة القدح تتغذى من مصدر مستقل، وتعطي نبضات قدح بتردد معين، فأول نبضة أو سلسلة من النبضات تتوافق مع النصف الموجب لمصدر التغذية للثايرستور تنقله إلى منطقة التوصيل الأمامي. ونلاحظ هنا أن زاوية القدح تتغير من 0-180° ولا تكون ثابتة القيمة، وهذا أحد عيوب هذه الدارة، ويبين الشكل(١٦) دارة قدح ثايرستور غير متزامنة.



شكل (١٦)

دارات قدح الثايرستور المتزامنة :

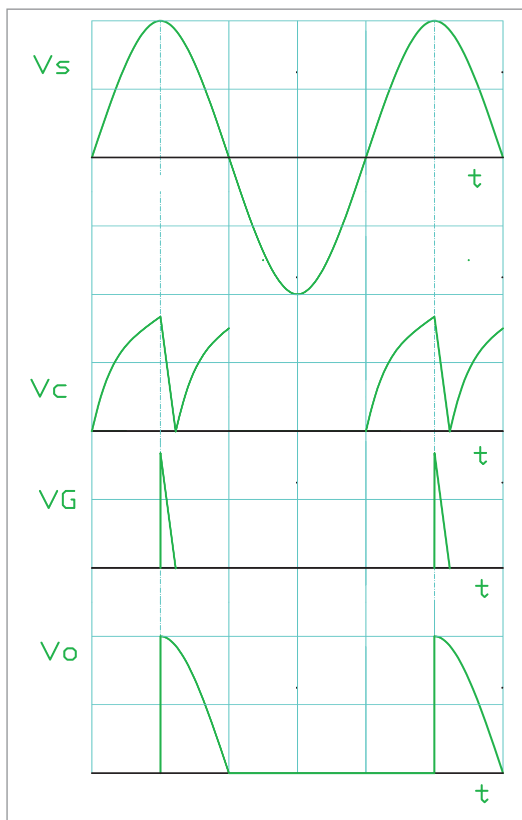
في هذه الدارات تم التغلب على عيب الدارة السابقة، وتم ضمان شرط التزامن عن طريق تغذية دارة القدح من نفس مصدر التغذية للثايرستور؛ بحيث تعمل دارة القدح فقط في النصف الموجب لمصدر التغذية وبزاوية قدح ثابتة يتم ضبط قيمتها بين 0-180° بواسطة مقاومة متغيرة كما في الشكل(١٧).



شكل (١٧)

تتكون دارة القدح من مذبذب تراخٍ يستخدم ترانزستوراً أحادي الوصلة المبرمج، في النصف الموجب لموجة التغذية يعمل ثنائي الزينر على تحديد جهد الشحن على قيمة جهد الزينر V_z المستخدم، ويتحدد جهد البوابة للترانزستور بواسطة مجزئ الجهد R_2، R_1، ويتم شحن المكثف من خلال المقاومة Rv وما أن يتساوى جهده

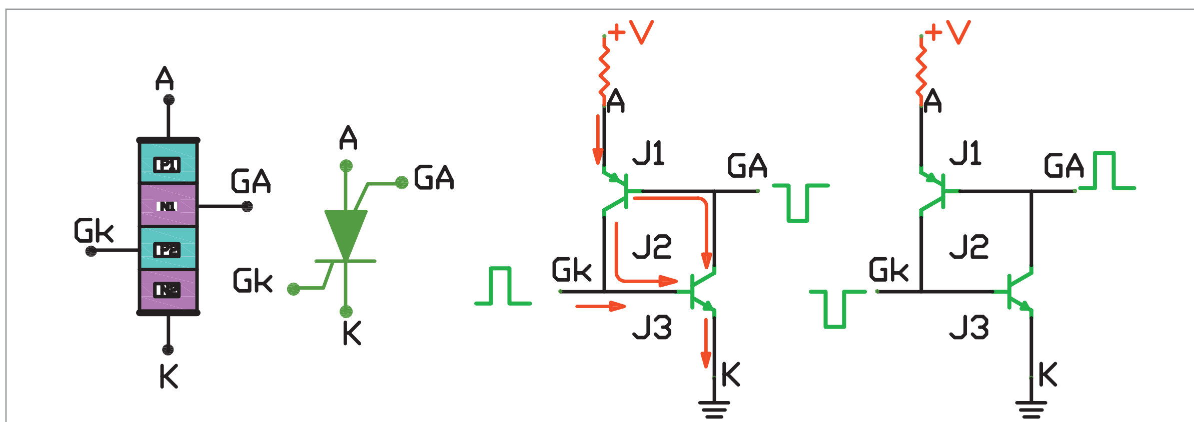
مع جهد بوابة الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج حتى يقدح الترانزستور سامحاً بتفريغ شحنة المكثف من خلال المقاومة R_3 على شكل تيار نبضي، وهذا التيار يولد جهداً نبضياً على المقاومة R_3 المتصلة مع بوابة الثايرستور تكون كافية لقدح الثايرستور، ويمكن التحكم بالزمن اللازم لشحن المكثف بواسطة المقاومة المتغيرة R_V وبالتالي التحكم بزاوية التأخير والشكل (١٨) يوضح أشكال إشارات دارة القدح والخرج للدارة. أما في النصف السالب لموجة التغذية فيكون كل من الترانزستور أحادي الوصلة المبرمج والثايرستور في حالة انحياز عكسي ولا تعمل الدارة.



شكل (١٨)

٣- المفتاح السيلكوني المحكوم scs:

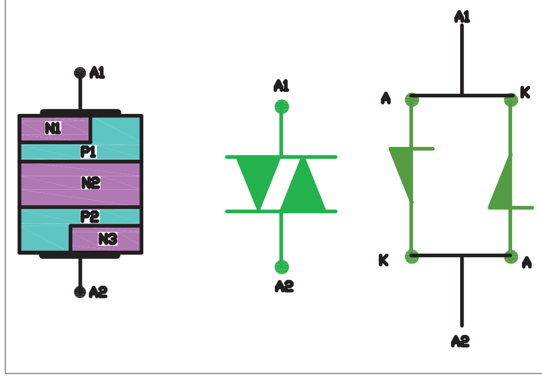
يشبه هذا المفتاح من حيث التركيب الثايرستور، ولكن له بوابتان واحدة متصلة بالشريحة الموجبة القريبة من المهبط تسمى بوابة المهبط، والثانية متصلة بالشريحة السالبة القريبة من المصعد تسمى بوابة المصعد، كما في الشكل (١٩)، ويمكن التحكم بتشغيل المفتاح بإحدى البوابتين، وذلك بتسليط نبضة موجبة على بوابة المهبط، أو نبضة سالبة على بوابة المصعد، ولإطفائه يتم التأثير بنبضة سالبة على بوابة المهبط، أو نبضة موجبة على بوابة المصعد، وهذا المفتاح يختلف عن الثايرستور في مقدار التيار الذي يستطيع تمريره، حيث إن التيار المقرر له أقل من المستخدم في الثايرستور، ويمتاز عن الثايرستور بسرعة الإطفاء العالية.



شكل (١٩)

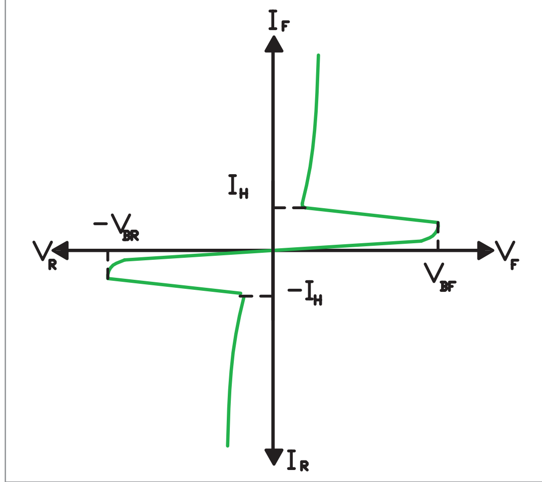
٤- الدياك:

أحد عناصر عائلة الثايرستور، له طرفان متماثلان هما المصعد الأول (A1) والمصعد الثاني(A2)، وهو عبارة عن مفتاح ثنائي الاتجاه يسمح بمرور التيار في اتجاهين متعاكسين، ويكافئ زوجاً من ثنائي شوكلي موصولين على التوازي وعلى التعاكس، كما في الشكل(٢٠).



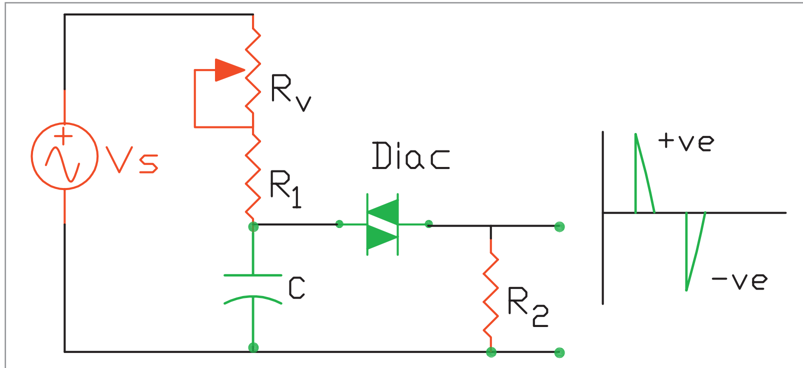
شكل (٢٠)

يوصل الدياك في أي من الاتجاهين عن طريق زيادة الجهد عليه إلى قيمة تتجاوز قيمة جهد الانهيار الأمامي، ومن الجدير بالذكر أن للدياك جهدي انهيار، أحدهما موجب والآخر سالب، ويبين الشكل (٢١) منحنى خصائص الدياك.



شكل (٢١)

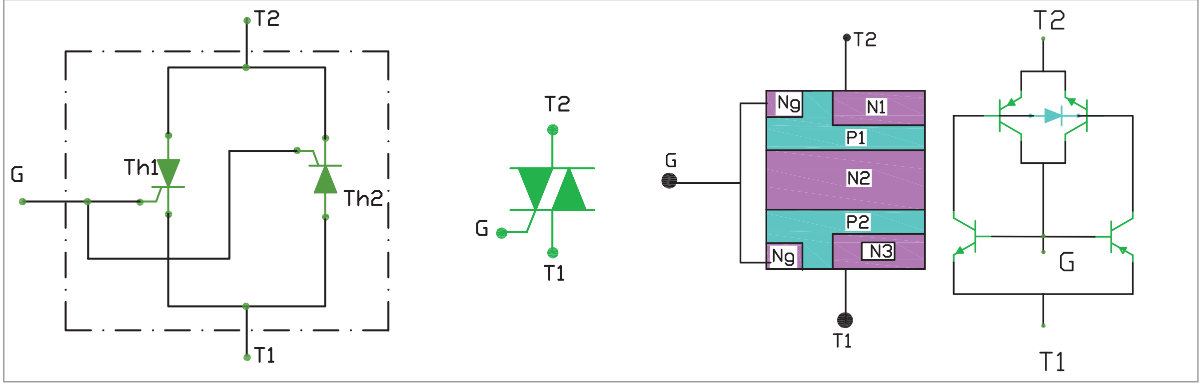
يعمل الدياك على جهود منخفضة في حدود 50V، ويستعمل لغرض رئيسي كمذبذب، وغالباً ما يستعمل دارات قدح الترياك. يبين الشكل (٢٢) مذبذباً يستخدم دياكاً، في النصف الموجب لمصدر التغذية يبدأ المكثف بالشحن بقطبية موجبة حتى يصل فرق الجهد عليه إلى جهد الانهيار الأمامي الموجب للدياك، فيفرغ شحنته خلال الدياك والمقاومة R_3 على شكل نبضة موجبة، وفي النصف السالب يشحن المكثف ولكن بقطبية معاكسة حتى يصل فرق الجهد عليه إلى جهد الانهيار الأمامي السالب للدياك، فيفرغ شحنته خلال الدياك والمقاومة R_3 على شكل نبضة سالبة، وتستخدم النبضة الموجبة والسالبة لقدح الترياك.



شكل (٢٢)

٥- الترياك:

الترياك عبارة عن مفتاح ثلاثي الأطراف ثنائي الاتجاه يتحكم بمرور التيار باتجاهين متعاكسين، ويكافئ ثايرستورين موصولين على التوازي والتعاكس، أي أن مصعد الثايرستور الأول موصول إلى مهبط الثايرستور الثاني، ومصعد الثايرستور الثاني موصول إلى مهبط الثايرستور الأول، وقد وصلت بوابتاهما معاً، يبين الشكل (٢٣) الدارة المكافئة للترياك، وعند توفير نبضة قدح مناسبة يتم تشغيل الثايرستور الذي يكون مصعده موجباً بالنسبة لمهبطه، يتم قدح الترياك بنبضة قدح موجبة أو سالبة.



شكل (٢٣)

ويوجد أربعة أنماط لقدح الترياك تبعاً لإشارة أطراف الترياك T_2 ، T_1 وإشارة البوابة، وهي كما يلي:

- النمط الأول: تكون إشارة الطرف T_2 موجبة بالنسبة للطرف T_1، وتكون إشارة البوابة موجبة بالنسبة للطرف T_1.
- النمط الثاني: تكون إشارة الطرف T_2 موجبة بالنسبة للطرف T_1، وتكون إشارة البوابة سالبة بالنسبة للطرف T_1.
- النمط الثالث: تكون إشارة الطرف T_2 سالبة بالنسبة للطرف T_1، وتكون إشارة البوابة موجبة بالنسبة للطرف T_1.
- النمط الرابع: تكون إشارة الطرف T_2 سالبة. بالنسبة للطرف T_1، وتكون إشارة البوابة سالبة بالنسبة للطرف T_1.

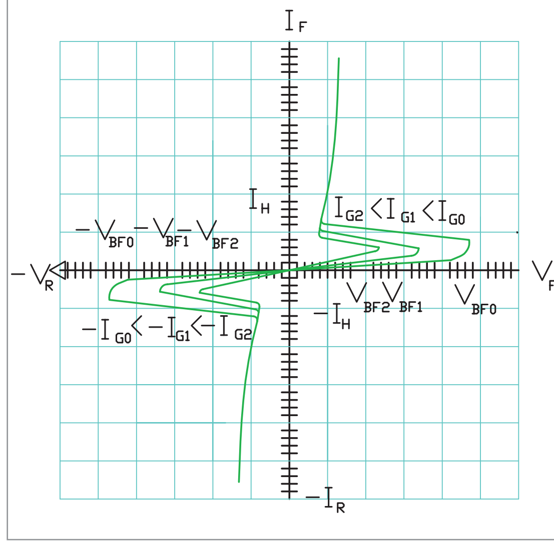
Vo	T2	T1	G	IG
I^+	+	−	+	IG=35mA
I^-	+		−	IG=35mA
III^+	−	+	+	IG=50mA
III^-	−	+	−	IG=35mA

جدول (١) يوضح أنماط عمل الترياك

يبين الجدول (١) هذه الأنماط للترياك BT139 .

وأنسب هذه الأنماط عندما تكون إشارة الطرف T_2 مشابهة لإشارة البوابة ويجسد ذلك في نمطين: الأول في الربع الأول، حيث تكون إشارة T_2 موجبة، والبوابة موجبة، والثاني في الربع الثالث، حيث تكون إشارة T_2 سالبة

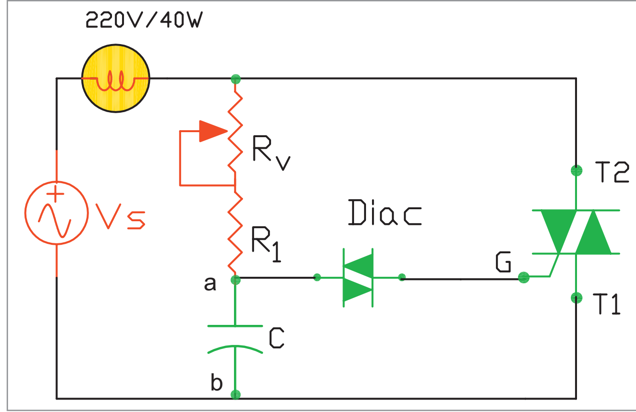
وإشارة البوابة سالبة، ويبين الشكل (٢٤) منحنى خصائص الترياك. يستخدم الترياك في التحكم بالقدرة الكهربائية المنقولة إلى الحمل، وذلك عن طريق تغير زاوية القدح، وللترياك زاوية قدح في النصف الموجب لمصدر التغذية وزاوية قدح في النصف السالب. ومن تطبيقاته التحكم بالقدرة المنقولة للأحمال الكهربائية كالتحكم بالإنارة ودرجة الحرارة وسرعة المحركات وغيرها.



شكل (٢٤)

■ دارة قدح الترياك:

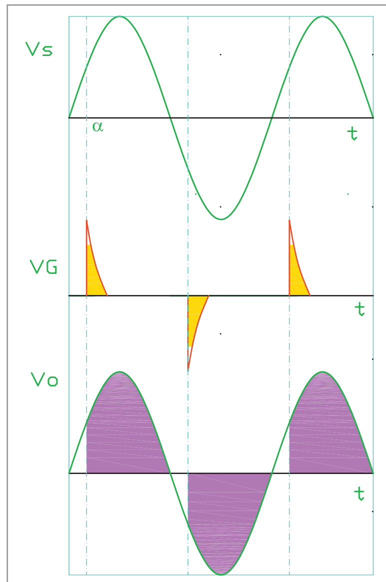
يعدّ الترياك مناسباً للتطبيقات التي تستخدم التيار المتناوب لأنه يمرر التيار في اتجاهين، ودارات القدح تصمم بحيث تتشابه إشارة جهد البوابة مع إشارة الطرف T_2، وهذا يعني أن دارة القدح ستولد نبضتي قدح موجبة وسالبة تكون متزامنة مع إشارة مصدر التغذية المتناوب، ويبين الشكل التالي دارة قدح تستخدم الدياك.



شكل (٢٥)

في النصف الموجب لمصدر التغذية تكون قطبية الطرف T_2 موجبة، ويبدأ المكثف بالشحن بحيث تكون قطبية النقطة a موجبة بالنسبة للنقطة b ويستمر بالشحن إلى قيمة تساوي جهد الانهيار الموجب للدياك، وعندها يتم تفريغ شحنته بسرعة في دارة البوابة على شكل نبضة موجبة تعمل على قدح الترياك، وفي النصف السالب تكون قطبية الطرف T_2 سالبة، ويبدأ المكثف بالشحن ويكون جهد النقطة a سالباً بالنسبة للنقطة b، ويستمر في الشحن إلى قيمة تساوي جهد الانهيار السالب للدياك، وعندها يتم تفريغ شحنته بسرعة في دارة البوابة على شكل نبضة تعمل على قدح الترياك.

تحتاج الدارات التي تستخدم الترياك للحماية من معدل تغير الجهد، وذلك عن طريق توصيل دارة إخماد مناسبة على التوازي مع الترياك، ويبين الشكل (٢٦) إشارات الدخل والخرج والبوابة.

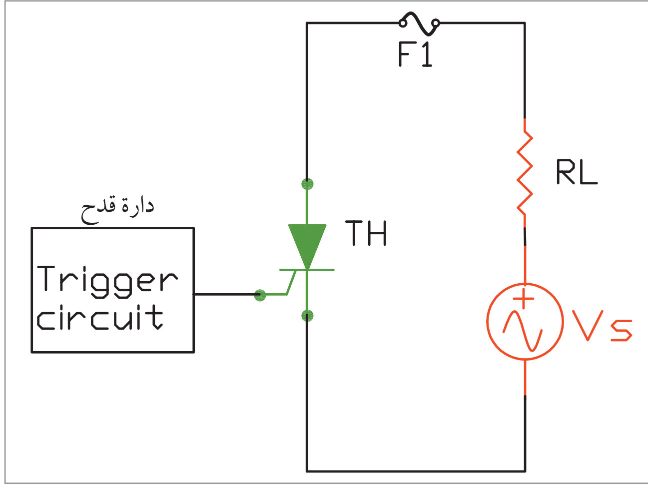


شكل (٢٦)

تطبيقات الثايرستور:

١- المقومات المحكومة:

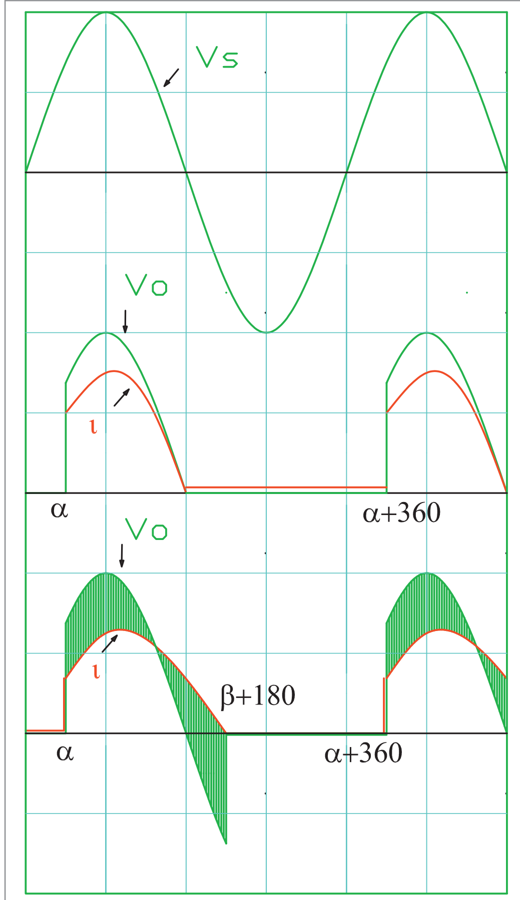
تعدّ المقومات المحكومة من أهم تطبيقات الثايرستور، حيث يمكن بواسطتها الحصول على قيمة متوسطة للجهد (Average Voltage) على طرفي الحمل، ومنها مقومات نصف موجة ومقومات موجة كاملة، وقد تكون أحادية الطور أو ثلاثية الطور.



شكل (٢٧)

مقوم نصف موجة:

يبين الشكل(٢٧) دارة مقوم نصف موجة محكوم باستخدام ثايرستور، وتشبه دارة مقوم نصف موجة باستخدام الثنائي، في النصف الموجب للمصدر يكون الثايرستور في منطقة الحجز الأمامي، ولا يمر تيار في دارة الحمل، وعند قدح الثايرستور بزاوية قدح معينة (α) بواسطة دارة البوابة، يمر تيار في الحمل، ويكون كل الجهد تقريباً على طرفي الحمل، وعند نهاية النصف الموجب قد يستمر مرور التيار في الحمل، ويعتمد ذلك على طبيعة الحمل، فإذا كان الحمل(أومياً) فإن التيار يتوقف لحظة انتهاء النصف الموجب لمصدر التغذية عند زاوية إطفاء مقدارها(β=0)، أما في الحمل؛ الحثي فإن الجهد يسبق التيار، أي أن التيار يتأخر عن الجهد بزاوية معينة تعتمد على تركيبة الحمل وعليه يستمر مرور التيار حتى بعد انتهاء النصف الموجب لمصدر التغذية طالما بقي التيار المار في الثايرستور أكبر من تيار الاستمرار بالتوصيل، وعندما يصبح التيار المار في الثايرستور أقل من تيار الاستمرار بالتوصيل يتوقف الثايرستور ويعود إلى



شكل (٢٨)

منطقة الحجز العكسي، وتكون الزاوية التي يتوقف عندها عن التوصيل ($\beta \neq 0$) يبين الشكل (٢٨) إشارتي الدخل والتيار لحمل أومي ولآخر حثي، وتحسب القيمة المتوسطة لجهد الخرج بالعلاقة الآتية:

$$V_{av} = \frac{V_{max}}{2\pi} [\cos\alpha + \cos\beta]$$

حيث إن:

V_{max}= القيمة العظمى لمصدر الجهد المتناوب.

α = قيمة زاوية القدح للثايرستور.

β = قيمة زاوية الإطفاء للثايرستور، $\beta = 0$ للحمل الأومي.

مثال:

احسب الجهد المتوسط للمقوم نصف الموجة المبين في الشكل إذا كانت القيمة الفعالة لجهد المصدر ٢٢٠ فولتاً في الحالات التالية:

١- إذا كانت زاوية القدح $\alpha = 30^\circ$ والحمل أومي.

٢- إذا كانت زاوية القدح $\alpha = 45^\circ$ والحمل حثي وزاوية الإطفاء $\beta = 15^\circ$

الحل:

$$V_{max} = \sqrt{2}\, Vo$$
$$= \sqrt{2} \times 220$$
$$= 311.0\ v$$

١- كون الحمل أومي يعني أن $\beta=0$

نطبق العلاقة التالية: $\alpha = 30^\circ$ و $\beta = 0^\circ$

$$V_{av} = \frac{V_{max}}{2\pi} [\cos\alpha + \cos\beta]$$

$$= \frac{311}{2\pi} [\cos 30 + \cos 0]$$

$$= \frac{311}{2\pi} [0.87+1] \quad = 92.6\ V$$

٢- نطبق العلاقة التالية: $\alpha = 45^\circ$ و $\beta = 15^\circ$

$$V_{av} = \frac{V_{max}}{2\pi} [\cos\alpha + \cos\beta]$$

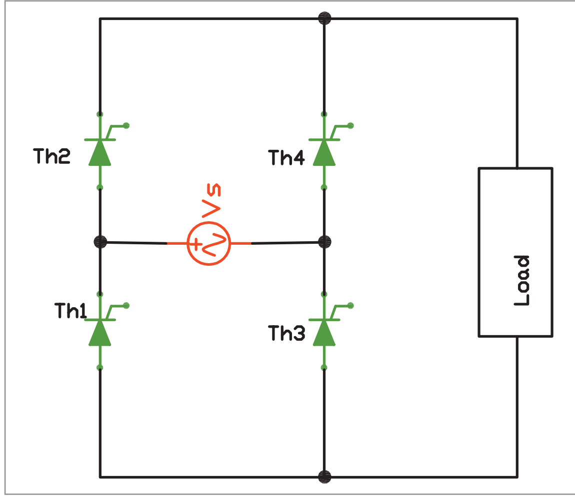
$$= \frac{311}{2\pi} [\cos 45 + \cos 15]$$

$$= \frac{311}{2\pi} [0.707+0.97] = 83.0\ V$$

مقوم موجة كاملة محكومة:

يتم تقويم موجة كاملة باستخدام عدة طرق مثل تقويم موجة كاملة باستخدام ثايرستورين مع محول ذي نقطة وسط، أو باستخدام قنطرة جسرية، وفيما يلي توضيح لطريقة عمل كل منهما .

مقوم موجة كاملة جسري :



شكل (٢٩)

يبين الشكل(٢٩) مقوم قنطرة جسري يستخدم أربعة ثايرستورات، ويشبه هذا المقوم الجسري الذي يستخدم أربع ثنائيات .

في النصف الموجب لموجة المصدر يتم قدح الثايرستورين Th_3 ، Th_2 معاً بواسطة دارة القدح (غير موضحة في الشكل) بزاوية قدح ($0< \alpha < 180$) فيمر تيار الحمل من خلال الثايرستور Th_2 إلى الحمل مكملاً مساره من خلال الثايرستور Th_3 في حين يكون كل من الثايرستورين Th_4 ، Th_1 في حالة انحياز عكسي وعند تبديل موجة المصدر إلى النصف السالب يتم إطفاء الثايرستورين Th_3 ، Th_2 تلقائياً إذا كان الحمل أومياً، أما إذا كان الحمل حثياً فإن التيار يستمر بالسريان حتى يتناقص التيار عن قيمة تيار الاستمرار بالتوصيل أي بزاوية إطفاء مقدارها β، فإذا كانت زاوية الإطفاء أقل من زاوية القدح، فعندئذ يحدث انقطاع في التيار لفترة ريثما يتم قدح المجموعة الثانية Th_3 ، Th_2 وعليه يكون التيار نبضياً، أما إذا كانت زاوية الإطفاء أكبر من زاوية القدح فإنه حال قدح الثايرستورين Th_3 ، Th_2 سيتوقف الثايرستورين Th_3 ، Th_2 عن التوصيل، وبالتالي لن يحدث انقطاع للتيار ويكون التيار مستمرا، وفي النصف السالب يتم قدح الثايرستورين Th_4 ، Th_1 معاً بزاوية قدح $180+\alpha$ حيث يمر التيار من خلال الثايرستور Th_4 مروراً بالحمل مكملاً مساره في الثايرستور Th_1 وتعطى القيمة المتوسطة للجهد بالعلاقة التالية :

$$V_{av} = \frac{V_{max}}{\pi} [\cos \alpha + \cos \beta]$$

حيث إن :

V_{max} = القيمة العظمى لمصدر الجهد المتناوب

α = قيمة زاوية القدح للثايرستور

β = قيمة زاوية الإطفاء للثايرستور، $\beta = 0$ للحمل الأومي

مثال :

احسب الجهد المتوسط لمقوم الموجة في الشكل (٢٩) إذا كانت القيمة الفعالة لجهد المصدر 220 فولت في الحالات التالية :

١ – إذا كانت زاوية القدح $\alpha = 30$ والحمل أومياً .

٢- إذا كانت زاوية القدح $\alpha=45^\circ$ والحمل حثياً وزاوية الإطفاء $\beta=15^\circ$

الحل :

$V_{max} = \sqrt{2}\ Vo$

$= \sqrt{2} \times 220$

$= 311.0\ v$

١- كون الحمل أومي يعني أن $\beta = 0^\circ$

نطبق العلاقة التالية عند: $\alpha = 30^\circ$ و $\beta = 0^\circ$

$$V_{av} = \frac{V_{max}}{\pi}[\text{Cos}\ \alpha+\text{Cos}\beta]$$

$$= \frac{311}{\pi}[\cos 30 + \cos 0]$$

$$= \frac{311}{\pi}[0.87+1]$$

$$=185.2\ V$$

٢- نطبق العلاقة التالية عند: $\alpha = 45^\circ$ و $\beta = 15^\circ$

$$V_{av} = \frac{V_{max}}{\pi}[\text{Cos}\ \alpha+\text{Cos}\beta]$$

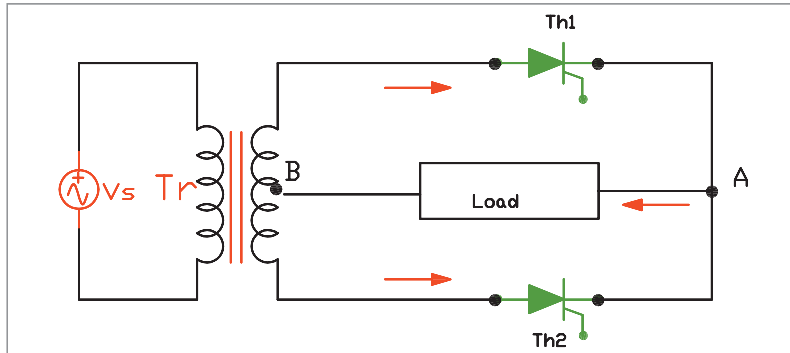
$$= \frac{311}{\pi}[\cos 45 + \cos 15]$$

$$= \frac{311}{\pi}[0.707+0.97]$$

$$= 166\ V$$

المقوم مع محول نقطة وسط :

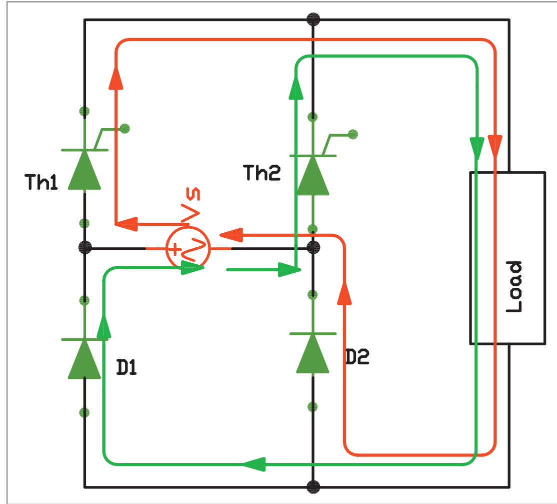
يبين الشكل (٣٠) دارة مقوم تستخدم محولاً مع نقطة وسط ، حيث يستخدم هذا المقوم ثايرستورين هما Th2 ، Th1 .



شكل (٣٠)

في النصف الموجب لموجة المصدر يتم قدح الثايرستور Th1 بزاوية قدح α، حيث يمر التيار منه إلى دارة الحمل بالاتجاه من A إلى B مكملاً مساره إلى نقطة الوسط في المحول، أما في النصف السالب فيتم قدح الثايرستور Th2 بزاوية قدح 180+ α، حيث يمر التيار في من خلاله إلى الحمل بنفس الاتجاه من A إلى B.

مقوم موجة كاملة نصف محكومة:

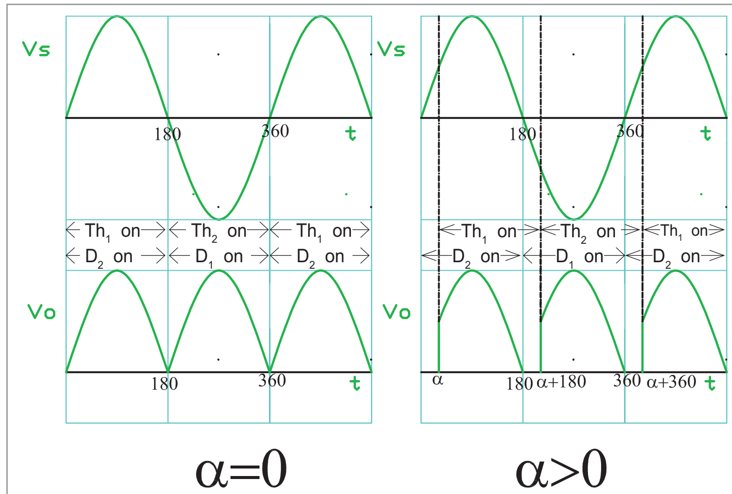


شكل (٣١)

يبين الشكل (٣١) دارة مقوم موجة كاملة نصف محكوم، في النصف الموجب لموجة المصدر وعند قدح الثايرستور Th_1 بزاوية قدح α يتحول الثايرستور Th_1 إلى حالة الوصل ليمر التيار إلى الحمل مكملاً مساره خلال الثنائي D_2 حتى نهاية النصف الموجب، وتكون قيمة التيار والجهد على الحمل نفس قيمة تيار المصدر وجهده، ولو فرضنا أن الحمل حثياً سيستمر التيار بالسريان ولكن بمسار بديل من خلال الثايرستور Th1 فالحمل ويكمل دورته من خلال الثنائي D_1 لأن الثنائي D_2 أصبح منحازاً عكسياً ويستمر التيار في هذا المسار إلى أن يتم قدح الثايرستور Th_2 بزاوية قدح α+180 في النصف السالب ويكمل التيار دورته من خلال المسار Th2 والحمل ثم الثنائي D1 وتكون قيمة تيار الحمل وجهده نفس قيمة جهد المصدر وتياره ولكن بإشارة معاكسة. ونوجز ذلك بما يلي:

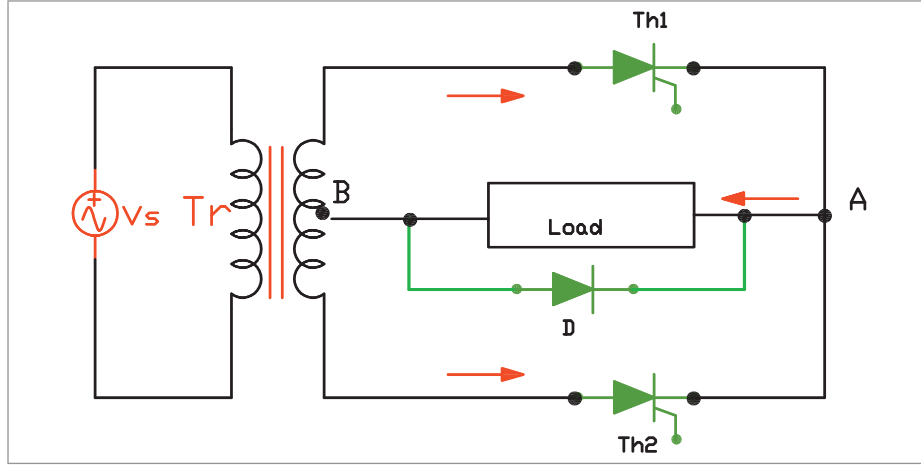
- في الفترة 180 - α يكون مسار التيار Th_1 – الحمل– D_2، تيار وجهد الحمل يتبعان المصدر.
- في الفترة (α+180)–180 يكون مسار التيار Th_1– الحمل الحثي –D_1 يكون تيار الحمل وجهده يساوي صفراً.
- في الفترة 360- (α+180) يكون مسار التيار Th_2 –الحمل– D_1، تيار الحمل وجهده يتبع المصدر ولكن بقطبية سالبة.

ويبين الشكل (٣٢) شكل جهد الخرج في كل مرحلة من المراحل السابقة.



شكل (٣٢)

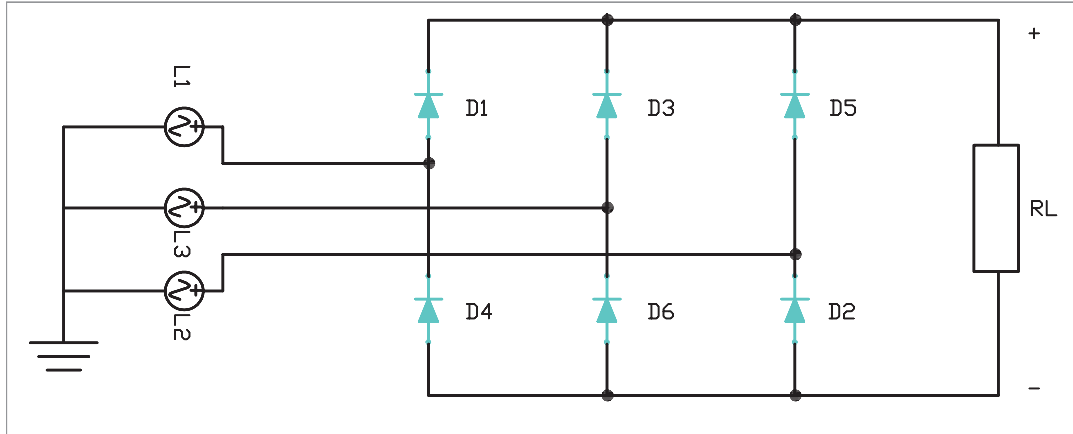
وهناك أشكال أخرى للمقوم نصف المحكوم، ويوضح الشكل (٣٣) إحدى هذه الدارات



شكل (٣٣)

المقوم ثلاثي الطور:

يتكون المقوم ثلاثي الطور من قنطرة من ستة ثنائيات موصولة كما في الشكل (٢٤)، حيث تتكون القنطرة من ثلاثة أطراف يحتوي كل طرف على ثنائيين، يوصل كل طرف إلى أحد الأطوار الثلاثة، ويلاحظ أيضا أن القنطرة مكونة من نصفين أحدهما النصف الموجب، ويضم الثنائيات D1,D3,D5، والآخر النصف السالب يضم الثنائيات D2,D4,D6

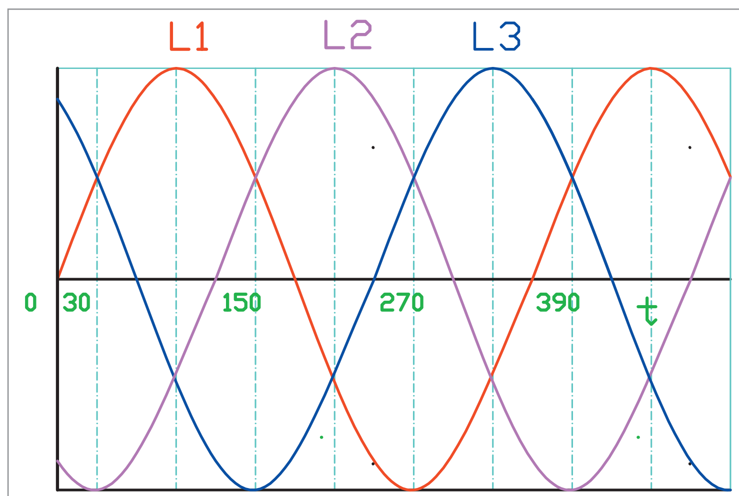


شكل (٣٤)

وحسب هذا التركيب يكون ثنائي واحد فقط في كل نصف في حالة وصل في أية لحظة، فعلى سبيل المثال إذا كان ترتيب الأطوار L1,L2,L3 سيعمل الثنائيات D1,D2,D3,D4,D5,D6 على الترتيب، وفيما يلي توضيح ذلك سيتم تمثيل الأطوار الثلاثة بالعلاقات الآتية :

$V_{L1}(\theta)= V_m \sin(\theta)$, $V_{L2}(\theta)= V_m \sin(\theta+120)$ $V_{L3}(\theta)= V_m \sin(\theta-120)$,

ويوضح الشكل تمثيلا لهذه الأطوار ، نلاحظ من الشكل (٣٥) أن جهد الطور L1 يكون الأكبر عندما تكون θ بين 30 و150 درجة ، وجهد الطور L2 يكون الأكبر عندما تكون θ بين 150 و 270 درجة ، وجهد الطور L3 يكون الأكبر عندما تكون θ بين 270 و390 درجة أي 30 درجة من الدورة التالية ، كذلك فإن جهد الطور L1 يكون الأقل عندما تكون θ بين 210 و 330 درجة ، جهد الطور L2 يكون الأقل عندما تكون θ بين 330 و450 درجة أي 90 درجة من الدورة التالية ، جهد الطور L3 يكون الأقل عندما تكون θ بين 90 و 210 درجة . وكما أسلفنا فإنه عند أية لحظة يكون ثنائي من النصف الموجب من قنطرة المقوم وثنائي من النصف السالب للقنطرة في حالة وصل فإن الثنائي D1 يكون في حالة وصل في الفترة 150- 30 درجة والثنائي D3 في الفترة 150-270 ، والثنائي D5 في الفترة 390-270 ، وفي النصف السالب من قنطرة المقوم يكون الثنائي D2 في حالة وصل في الفترة 90-210 ، والثنائي D4 في الفترة 210-330 ، والثنائي D6 في الفترة 330-450 أي 90 درجة من الدورة التالية ، ويلخص الجدول (١) حالة الثنائيات عند أية لحظة .



شكل (٣٥)

الفترة	الثنائيات في حالة التوصيل
30-90	D6,D1
90-150	D1,D2
150-210	D2,D3
210-270	D3,D4
270-330	D4,D5
330-360 و 0-30 من الدورة التالية	D5,D6

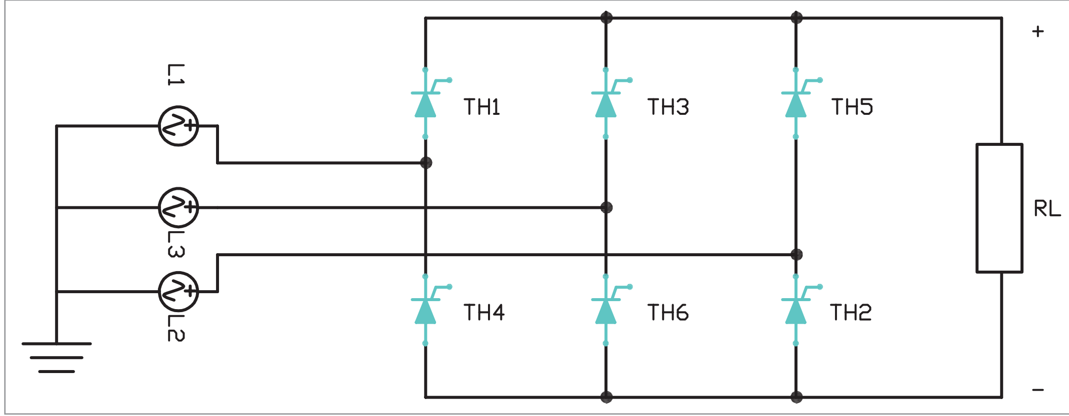
جدول (١)

الفترة	الثايرستورات في حالة التوصيل
α + 30 - α + 90	TH6,TH1
α + 90 - α + 150	TH1,TH2
α + 150 - α + 210	TH2,TH3
α + 210 - α + 270	TH3,TH4
α + 270 - α + 330	TH4,TH5
α + 330 - α + 360 و α + 0 - α + 30 من الدورة التالية	TH5,TH6

جدول (٢)

لا يختلف المقوم ثلاثي الطور المحكوم كثيراً من حيث التركيب والعمل عن المقوم ، حيث تستبدل الثنائيات بمقومات سيليكونية محكومة كما في الشكل (٣٦) ، أما بالنسبة لمبدأ العمل فإنه كما هو الحال في المقوم ثلاثي الطور يتم في أية لحظة قدح ثايرستور واحد من النصف الموجب وثايرستور واحد من النصف السالب للمقوم

وعلى فرض أن زاوية القدح α فإن المقومات المحكومة SCR's تعمل على مدى دورة العمل كما في الجدول (٢):



شكل (٣٦)

٢- التحكم بالقدرة:

تستخدم الثايرستورات في تطبيقات عديدة، حيث يتم التحكم بالقدرة المنقولة من المصدر إلى الحمل ويتبع التطبيق الغرض المرجو منه كالتحكم بشدة الإنارة، والتحكم بدرجة الحرارة، والتحكم بالسرعة والمؤقتات، ويتم التحكم بإحدى الطرق الآتية:

التحكم بزاوية القدح:

حيث يتم الحصول على قيمة فعالة للجهد تتناسب مع زاوية القدح، وتعطى القيمة الفعالة للجهد على طرفي الحمل بالعلاقة الآتية:

$$V_o^2 = V_s^2 \left\{ 1 - \frac{\alpha}{180} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right\}$$

حيث إن:

V_s= القيمة الفعالة لمصدر التغذية.

α = زاوية القدح بالدرجات.

وتعطى القدرة المنقولة للحمل بالعلاقة التالية:

$$P = V_o \times I$$

$$= V_o \times \frac{V_o}{RL}$$

$$= \frac{V_o^2}{R_L}$$

وفي مثل هذه التطبيقات يمكن التحكم بزاوية القدح في المدى $0 \le \alpha \le 180$ وهذا المدى يسمح بالتحكم

بالقدرة المنقولة من 0% إلى 100% . ولتوضيح ذلك :

١- نفرض أن $\alpha = 0^\circ$ وبتطبيق العلاقة السابقة

$$V_o^2 = V_s^2 \left\{1 - \frac{\alpha}{180} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right\}$$

$$= V_s^2 \left\{1 - \frac{0}{180} + \frac{\sin 0}{2\pi}\right\}$$

$$= V_s^2$$

وبالتعويض في علاقة القدرة $P = \frac{V_o^2}{R_L}$

(100%) وهي القدرة الاسمية للمصدر

٢- نفرض أن $\alpha = 180^\circ$

$$V_o^2 = V_s^2 \left\{1 - \frac{\alpha}{180} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right\}$$

$$= V_s^2 \left\{1 - \frac{180}{180} + \frac{\sin 360}{2\pi}\right\}$$

$$= 0$$

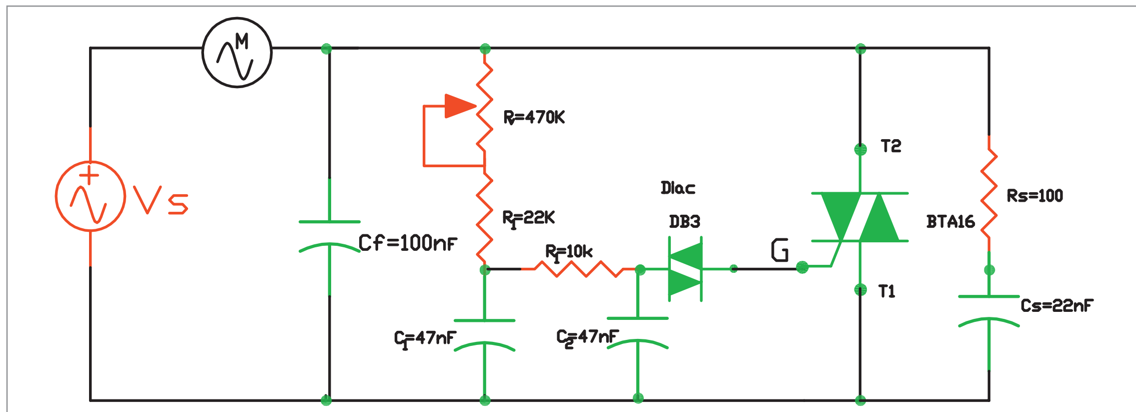
وبالتعويض في علاقة القدرة $P = \frac{V_o^2}{R_L}$

$$= 0$$

وهذا يعني عدم نقل القدرة من المصدر إلى الحمل (0%) من القدرة الاسمية .

مثال١:

يبين الشكل (٣٧) دارة تحكم بسرعة محرك مكنسة كهربائية ، اشرح عمل الدارة .



شكل (٣٧)

الحل:

في النصف الموجب لموجة المصدر يبدأ المكثفان C_1 ، C_2 بالشحن عن طريق المقاومة المتغيرة R_v باتجاه القيمة العظمى لجهد المصدر، وما أن يصل الجهد على المكثف C_2 إلى جهد القدح الموجب للدياك حيث يقدح الترياك سامحاً بمرور تيار تفريغ المكثفين C_1 ، C_2 من خلاله إلى بوابة الترياك، حيث ينتقل الأخير إلى حالة الوصل، فيمر تيار الحمل من خلاله، وبضبط قيمة المقاومة المتغيرة R_v يمكن التحكم بزاوية القدح، وبالتالي التحكم بالجهد على أطراف المحرك الذي يحدد سرعته ما بين أقل سرعة وسرعته الاسمية.

أما في النصف السالب لجهد المصدر فيتم شحن المكثفات ولكن بقطبية معاكسة إلى أن يصل الجهد على المكثف C_2 إلى قيمة جهد القدح السالب للدياك، وعندها يقدح الدياك سامحاً بمرور تيار تفريغ المكثفين إلى بوابة الترياك، عندما يقدح الترياك، ليمر تيار الحمل من خلاله.

تحتوي الدارة السابقة على مرشح والمتكون من المكثف C_f حيث يعمل على إزالة التشويش الحاصل في شبكة التغذية الذي يلاحظ على الأجهزة القريبة مثل التلفاز وغيره.

كما تحتوي على دارة إخماد التي تتكون من المقاومة R_s والمكثف C_s التي تلزم في حالة الأحمال الحثية حيث قد يؤدي عدم وجودها إلى قدح الترياك في الاتجاه غير المرغوب بسبب التغير المفاجئ في فرق الجهد على أطرافه.

مثال٢:

في تطبيقات التحكم بالقدرة عن طريق التحكم بزاوية القدح للترياك، احسب القدرة المنقولة إلى حمل مقاومته 30Ω عند زاوية قدح $\alpha = 30^\circ$ إذا علمت أن جهد المصدر 220V؟

الحل:

$$V_o^2 = V_s^2 \left\{1 - \frac{\alpha}{180} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}\right\}$$

$$V_o^2 = 220^2 \left\{1 - \frac{30}{180} + \frac{\sin 60}{2\pi}\right\}$$

$$V_o^2 = 220^2 \left\{1 - \frac{1}{6} + \frac{0.87}{2\pi}\right\}$$

$$V_o^2 = 47038.4$$

وبالتعويض في علاقة القدرة $P = \frac{V_o^2}{R_L}$

$$= \frac{47038.4}{30} = 1568 \text{ watt}$$

التحكم ثنائي الموضع ON-Off:

حيث يتم ذلك عن طريق قدح الترياك بزاوية قدح ثابتة مقدارها ($\alpha = 0$) لعدد متتالٍ من دورات موجة المصدر والامتناع عن القدح لعدد آخر من دورات المصدر في فترة زمنية محددة تعرف بزمن دورة النظام وتعرف النسبة (γ) بعدد مرات دورات القدح إلى عدد دورات دورة النظام الكلي ، وتمثل هذه النسبة الكلية للقدرة المنقولة من المصدر إلى الحمل ، فلو فرضنا أن P_r تمثل القدرة الاسمية للمصدر وأن P_o القدرة على الحمل وأن دورة النظام تتسع لِـ 12 دورة من موجة المصدر وأنه تم قدح الترياك 3 دورات متتالية فتكون :

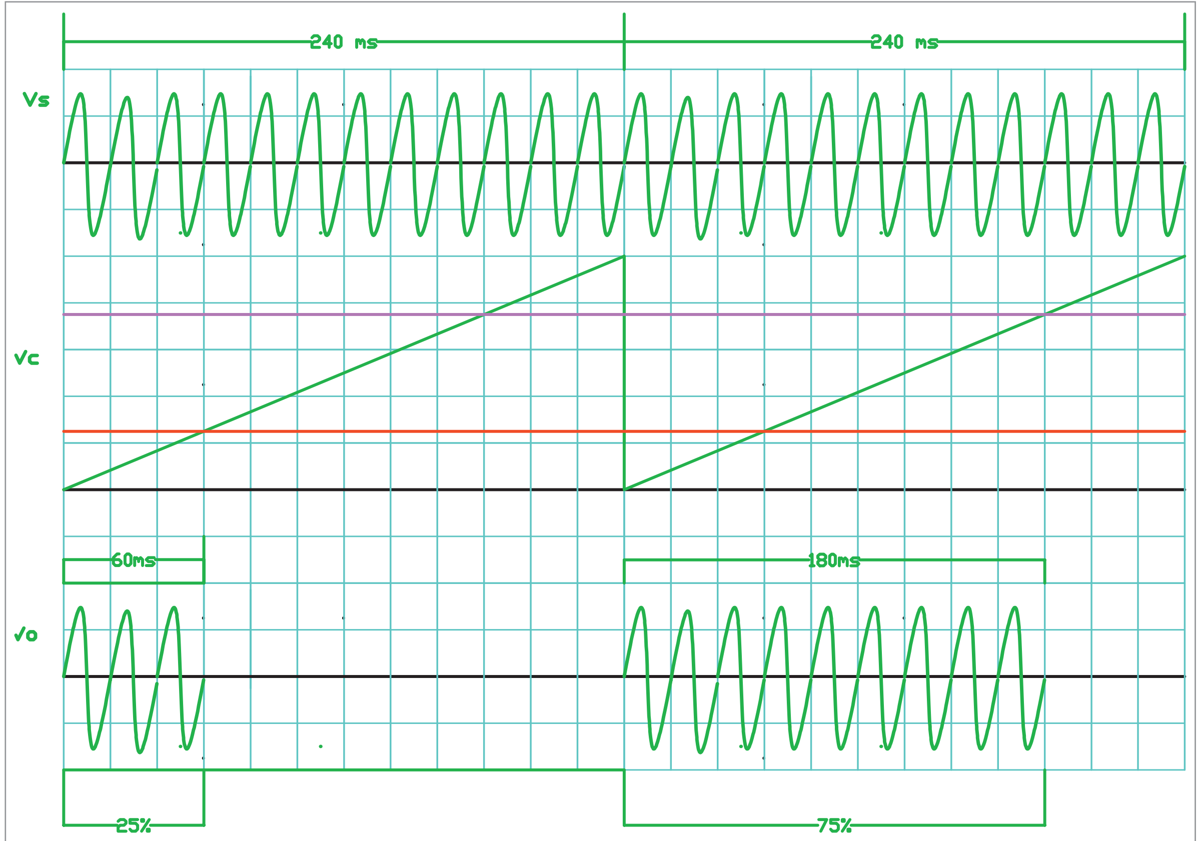
$$\gamma = \frac{3}{12} = 0.25$$

وتكون القدرة على الحمل

$$P_o = \gamma P_r$$

$$= 0.25\ P_r$$

أي أن نسبة % 25 من القدرة الاسمية تم نقلها للحمل ، وكذلك لو كانت عدد الدورات 9 دورات تكون النسبة 75% من القدرة الاسمية .



شكل (٣٨)

وعلى فرض ثبات الحمل يمكن حساب جهد الخرج كما يلي :

$$P_o = \gamma P_r$$

$$\frac{V_o^2}{R_L} = \gamma \frac{V_s^2}{R_L}$$

$$V_o = \sqrt{\gamma}\, V_s$$

ويوضح الشكل (٣٨) هذا المفهوم .

تستخدم دارات لتوليد نبضة قدح متزامنة مع مرور موجة المصدر في الصفر ، وتستعمل موجة سن المنشار في تحديد زمن دورة النظام بالمقارنة بجهد مرجعي .

مثال :

في دارة تحكم ثنائي الموضع احسب جهد الخرج والقدرة المنقولة إلى حمل قدرته الاسمية 5 KW إذا كان جهد المصدر 220 فولت عندما تكون $\gamma = 0.5$ ؟

الحل:

$$P_o = \gamma P_r$$

$$= 0.5 \times 5000$$

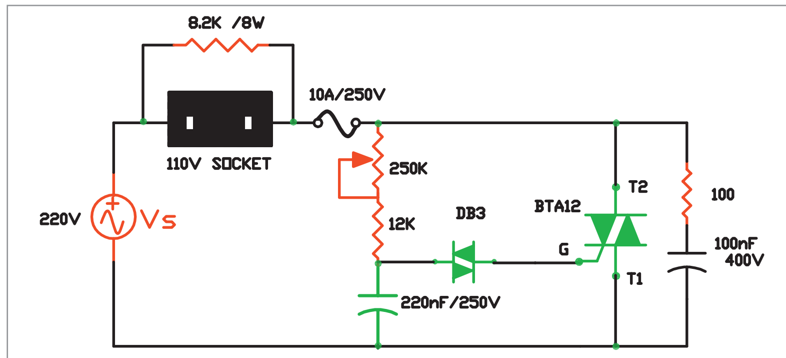
$$= 2500 \text{ watt}$$

$$V_o = \sqrt{\gamma}\, V_s$$

$$= \sqrt{0.5} \times 220 = 155.5 \text{ V}$$

٣- المحول الإلكتروني:

في كثير من الأجهزة الكهربائية نحتاج لتشغيلها إلى جهد أقل من جهد المصدر ، وعادة مايتم تشغيلها عن طريق محولات خافضة للجهد التي من عيوبها الوزن والحجم الكبيرين نسبياً ، وكذلك التكلفة العالية التي تتناسب مع قيمة تيار المحول ، ومع تطور عناصر



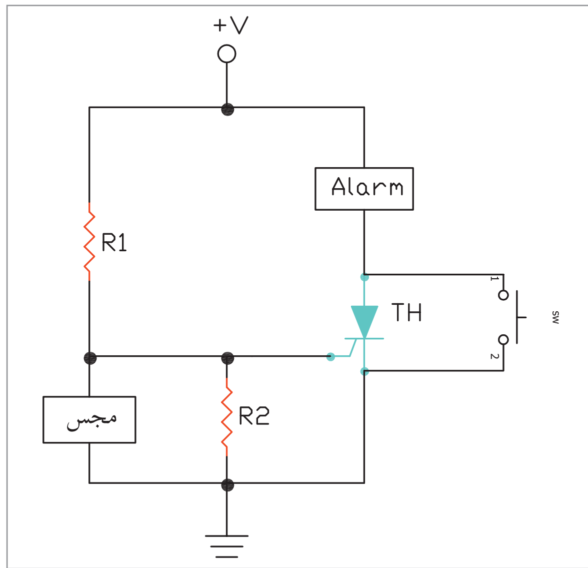
شكل (٣٩)

إلكترونيات القوى أصبح بالإمكان الحصول على جهد منخفض، وذلك بالتحكم في زاوية القدح لهذه العناصر فيما يطلق عليه المحول الإلكتروني.

يبين الشكل (٣٩) دارة محول إلكتروني الغرض منه تخفيض الجهد المتناوب من 220 فولتاً إلى 110 فولتات، فمثل هذا المحول يلزم لتشغيل الأجهزة التي تعمل على جهد 110 فولتات. يتم ضبط المقاومة المتغيرة حتى يتم الحصول على الجهد المناسب (110V).

٤- دارات الإنذار:

تعتمد دارات الإنذار في العادة على مجس يتحسس، ويراقب قيمة متغير معين كالحرارة أو الدخان أو الضوء، وعند تغير قيمة المتغير يتم تشغيل دارة إنذار كجرس كهربائي أو نظام اتصال . . . إلخ، وتبقى دارة الإنذار تعمل إلى أن يستجاب إلى الإنذار ويتم إيقافه، ويعدّ الثايرستور من العناصر المناسبة في دارات الإنذار، حيث إنه إذا كان مصدر التغذية عبارة عن تيار مستمر فإنه بمجرد قدحه يبقى في حالة التوصيل إلى أن يتم إطفاؤه. يبين الشكل (٤٠) دارة إنذار، عند وجود المتغير للمجس (كالحرارة مثلاً) يكون المجس في حالة التوصيل وتكون مقاومته قليلة، وينخفض فرق الجهد على أطرافه ليصبح غير كاف لتوليد تيار القدح للثايرستور، فيبقى الثايرستور في حالة الفصل، وعند عدم وجود متغير المجس يتحول إلى حالة الفصل وترتفع مقاومته، ويزداد فرق الجهد على أطرافه، ليصبح كافياً لتوليد تيار القدح المطلوب، فيقدح الثايرستور حيث يمر تيار جرس وحدة الإنذار، ويبقى الثايرستور كذلك إلى أن يتم إطفاؤه بواسطة الضغط على المفتاح الانضغاطي ذي التماس اللحظي.



شكل (٤٠)

٥- المفاتيح الساكنة:

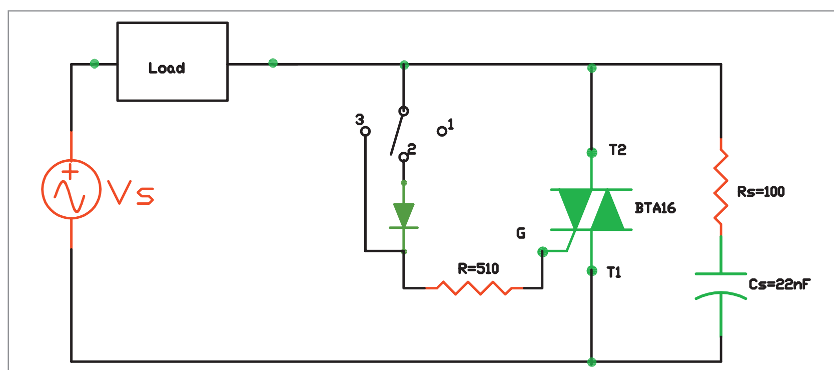
مع ظهور الثايرستورات ذات القدرات العالية التي تتحمل مرور تيارات عالية، أصبح بالإمكان استعمالها كمفتاح بدلاً من المفتاح الميكانيكي فيما يعرف بالمفاتيح الساكنة، ولقد تميزت هذه المفاتيح عن المفاتيح الميكانيكية بما يلي:

- سهولة عمليات التحكم.
- إمكانية التحكم بمرور تيار عالي القيمة بواسطة تيار بوابة صغير.

- عدم حدوث الشرارة التي ترافق عمليات الفتح والإغلاق في المفاتيح الميكانيكية مما يقلل الحاجة للصيانة وما يترتب على ذلك من تكلفة صيانة .
- عدم حدوث عمليات فتح ارتدادية (Debounced) قد تسبب عطل الأجهزة ، وخاصة الأجهزة الحساسة ، وعدم الحاجة إلى دارات تلغي أثر عمليات الفتح الارتدادية (Debounced) .

يبين الشكل (٤١) مفتاحاً ثلاثي المواضع يستخدم الترياك ، عندما يكون المفتاح Sw في :

- وضع 1 تكون بوابة الترياك مفصولة والترياك في حالة الفصل ، ولا يمر تيار في الحمل .

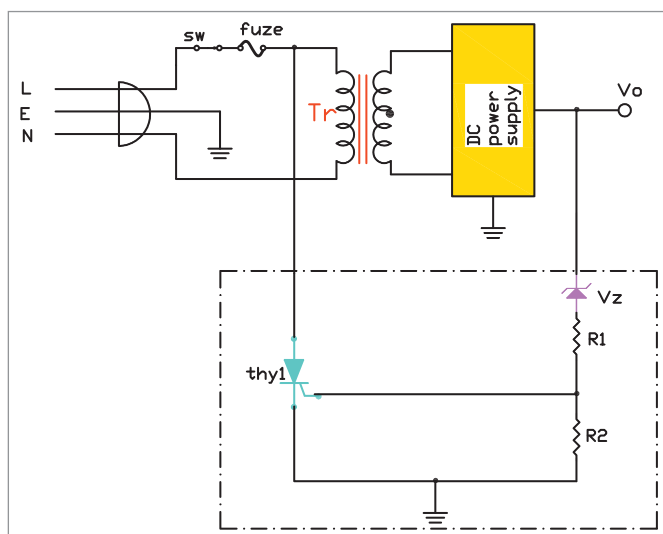


شكل (٤١)

- وضع 2 فإن الثنائي يعمل على تمرير النصف الموجب لمصدر التغذية ، حيث يعمل الترياك في النصف الموجب فقط ، ولا يعمل في النصف السالب(في هذه الحالة يكافئ ثايرستور) وعليه تكون قدرة الحمل 50% من القدرة الاسمية .
- وضع 3 تكون بوابة الترياك موصولة مع مصدر التغذية عن طريق المقاومة R_1 ، ويتم قدح الترياك في النصف الموجب بنبضة قدح موجبة وفي النصف السالب بنبضة قدح سالبة ، ويكون الحمل متصلاً بالمصدر والقدرة المنقولة للحمل مساوية % 100من القدرة الاسمية للحمل .

٦- الحماية من الجهد الزائد :

يستخدم الثايرستور في حماية الأجهزة الكهربائية من ارتفاع الجهد ، والناتج عن أسباب مختلفة كحدوث خلل في دارات التنظيم ، يبين الشكل(٤٢) دارة توضح آلية عمل الثايرستور في دارة الحماية ، حيث يوصل الثايرستور على التوازي مع مصدر التغذية ، وتغذى دارة البوابة من خلال ثنائي زينر تحدد قيمة جهده ليناسب قيمة الجهد المراد مراقبته ومجزئ الجهد R_2 ، R_1 ، ففي الظروف الطبيعية يكون ثنائي زينر في



شكل (٤٢)

وضع أقل من وضع الانهيار العكسي، وبالتالي لا يمر تيار في دارة البوابة حيث يبقى الثايرستور في حالة القطع، وعند زيادة جهد خرج الدارة يتحول ثنائي الزينر إلى حالة الانهيار، حيث يمر تيار في دارة بوابة الثايرستور، وبالتالي يتم قدحه؛ ليسبب حدوث دارة قصر على مصدر التغذية مما يسبب صهر المصهر، وتنقطع التغذية عن الجهاز وبالتالي حمايته من الجهد الزائد.

٧- تحويل الجهد المستمر إلى جهد متناوب :

تنوعت الطرق والدارات التي تستخدم لتحويل الجهد المستمر إلى جهد متناوب فيما يعرف بعاكسات القدرة (INVERTERS)، ومن العناصر التي تستخدم في العاكسات الترانزستورات والثايرستورات وترانزستورات ثنائية القطبية معزولة البوابة.

العاكس : جهاز قادر على تحويل الجهد المباشر إلى جهد متناوب، وفي نفس الوقت يعمل على تنظيم كل من الجهد والتيار والتردد. و تعزى أهمية العواكس إلى الأمور التالية :

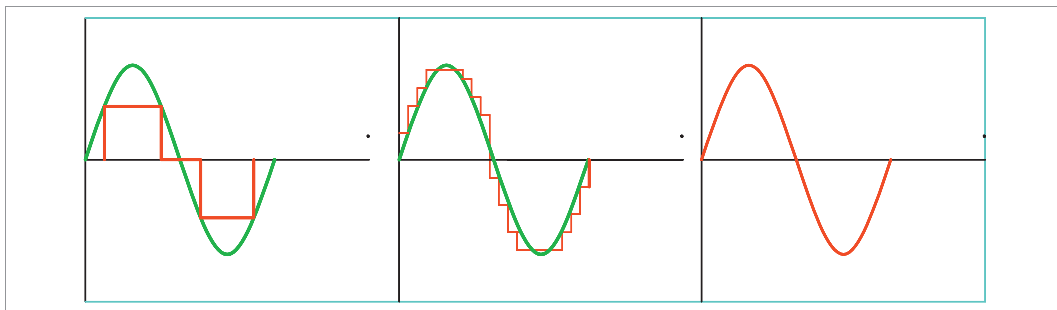
١ . مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح تعطي جهداً مباشراً (12 V dc) في الغالب.

٢ . الأجهزة المنزلية والماكينات تعمل على الجهد المتناوب (220V).

٣ . الحاجة إلى ربط مصادر الطاقة المتجددة إلى شبكات التوزيع (متناوبة).

٤ . التحكم في سرعة المحركات.

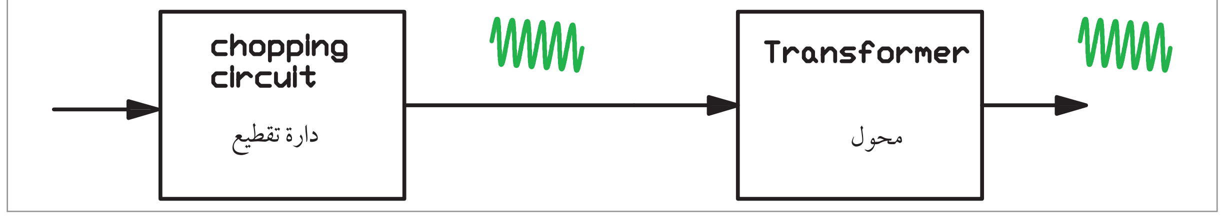
تصنع العواكس بعدة أشكال وأحجام حسب طبيعة الاستخدام، وتتراوح قدرتها ما بين 50 واط إلى ما يزيد عن 50 كيلو واط، وتستخدم عدة طرق في التحويل وتكون إشارة الخرج على عدة أشكال منها المربعة، أو الجيبية، المعدلة، أو الجيبية التامة، وهي الأفضل كما في الشكل (٤٣).



شكل (٤٣)

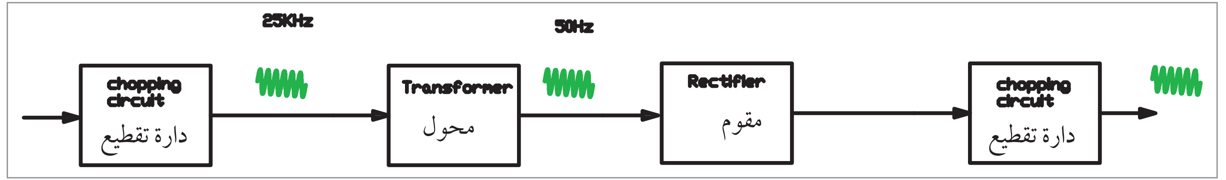
تستعمل العواكس طريقة التقطيع (chopping) بالإضافة إلى محول، ويتم ذلك بإحدى الطرق التالية :

١- عاكس يستخدم دارة تقطيع حيث يقوم بتحويل جهد البطارية ذات الجهد المنخفض والتيار العالي إلى جهد متناوب ذي جهد منخفض وتيار عالٍ، ثم بواسطة المحول يتم رفع الجهد وخفض التيار يمثل الشكل (٤٤) المخطط الصندوقي لهذا النوع، وعيب هذا النوع كبر حجم المحول المستخدم ووزنه الكبير.



شكل (٤٤)

٢- عاكس يستخدم دارتي تقطيع ومحولين كما يبين المخطط الصندوقي في الشكل(٤٥).



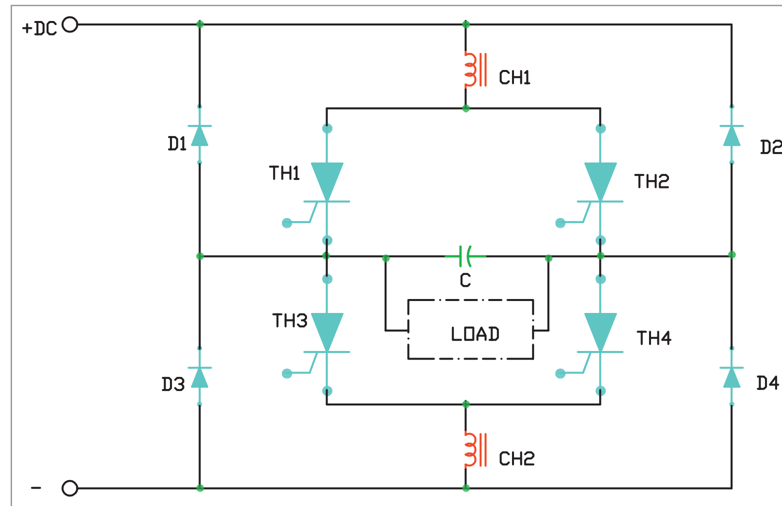
شكل (٤٥)

حيث يتم في المرحلة الأولى تحويل الجهد المباشر إلى جهد متناوب منخفض وتيار متناوب عالي القيمة وتردد إشارة عالٍ (25 KHz) ثم بواسطة المحول يتم تحويل رفع الجهد وتخفيض قيمة التيار وتنزيل التردد إلى 50 Hz ، ويمتاز هذا النوع بصغر حجم المحول المستخدم وقلة وزنه .

وفي هذا المجال سنتطرق إلى بعض دارات العاكسات التي تستخدم الثايرستور، ومنها ما يلي :

العاكس الجسري أحادي الطور :

يبين الشكل (٤٦) عاكساً جسري أحادي الطور، يكون خرج هذا العاكس عبارة عن موجة مربعة اتساعها من القمة إلى القمة ضعف قيمة مصدر التغذية المستمر وزمنها الدوري يعتمد على مقدار زاوية القدح للثايرستورات الأربعة .



شكل (٤٦)

عمل الدارة :

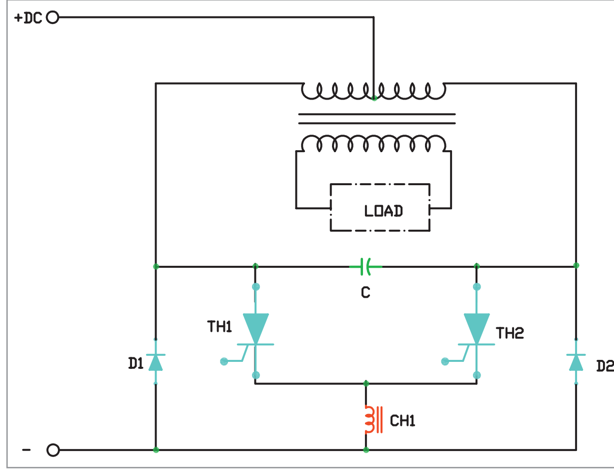
يتم قدح الثايرستورات على شكل أزواج وبتبادل، وعلى فرض أنه تم قدح الثايرستورين Th_1 ، Th_4 سيمر التيار في الحمل من اليسار إلى اليمين ويتم شحن المكثف C_1 بحيث يكون طرفه الأيمن سالباً بالنسبة للطرف الأيسر ، ويتحدد تيار الحمل بمقدار ممانعته ؛ لأن ممانعة الملف الخانق CH_1 والثايرستورين Th_1 ، Th_4 لهما ممانعة قليلة ، ويستمر توصيل كل من Th_1 ، Th_4 إلى أن يتم قدح الثايرستورين Th_2 ، Th_3

عندها يبدأ المكثف C_1 بتفريغ شحنته في مسارين هما :

- المسار الأول من المكثف إلى الثايرستور Th_1، الثايرستور Th_2 لينتهي بالمكثف ويعمل التيار العكسي المار في الثايرستور Th_1 على إطفائه .
- المسار الثاني من المكثف إلى الثايرستور Th_3، الثايرستور Th_4 ويعمل التيار العكسي المار في الثايرستور Th_4 على إطفائه . ويمر تيار الحمل من اليمن إلى اليسار ويتحدد تيار الحمل بمقدار ممانعته لأن ممانعة الملف الخانق CH_2 والثايرستورين Th_3، Th_2 لهما ممانعة قليلة، ويتم شحن المكثف بقطبية معاكسة بحيث يكون الطرف إلى الأيمن موجباً بالنسبة إلى الطرف الأيسر، وتعاد الكرة عند إعادة قدح الثايرستورين Th_4، Th_1، فالمكثف هو المسؤول عن عملية التبديل في الثايرستورات الأربعة. أما الملف الخانق Ch_2، Ch_1 فيعمل على تحديد التيار المسحوب من المصدر، في حين تعمل الثنائيات D_4، D_3، D_2، D_1 على إعادة الطاقة المعادة من الحمل إلى المصدر وكذلك تقوم بتفريغ الطاقة المختزنة في الملفين .

العاكس مع محول نقطة وسط

يبين الشكل (٤٧) دارة عاكس أحادي الطور مع محول نقطة وسط، ويشبه هذا العاكس الجسري، إلا أنه يستخدم نصف العدد من الثايرستورات والثنائيات، عند قدح الثايرستور TH_1 يتغذى النصف الأيسر للمحول بجهد المصدر، حيث ينقل المحول الجهد إلى الخرج، ويتم شحن المكثف بحيث يكون طرفه الأيمن موجباً بالنسبة لطرفه الأيسر .



شكل (٤٧)

وعند قدح الثايرستور Th_2 تعمل الشحنة المُختزنة على المكثف على إطفاء الثايرستور Th_1، يتغذى النصف الأيمن للمحول بجهد المصدر، حيث ينقل المحول الجهد إلى الخرج بقطبية معاكسة لتلك التي في الجزء الأول، ويتم شحن المكثف بحيث يكون طرفه الأيسر موجباً بالنسبة لطرفه الأيمن ليعمل على إطفاء الثايرستور Th_2 عند قدح الثايرستور Th_1 من جديد، أما الثنائيات والملف الخانق فلها نفس العمل كما في الجزء السابق .

ثانياً: ترانزستور ثنائي القطبية معزول البوابة:

إلى ما قبل تطوير ترانزستور ثنائي القطبية معزول البوابة (IGBT «Insulated Gate Bipolar Transistor») استخدم الترانزستور MOSFET للتطبيقات ذات القدرات الصغيرة والمتوسطة التي تتطلب سرعة مفتاحية عالية، بينما استخدم الترانزستور ثنائي القطبية (BJT) للتطبيقات ذات القدرات المتوسطة التي تتطلب تيارات عالية نسبياً. إن

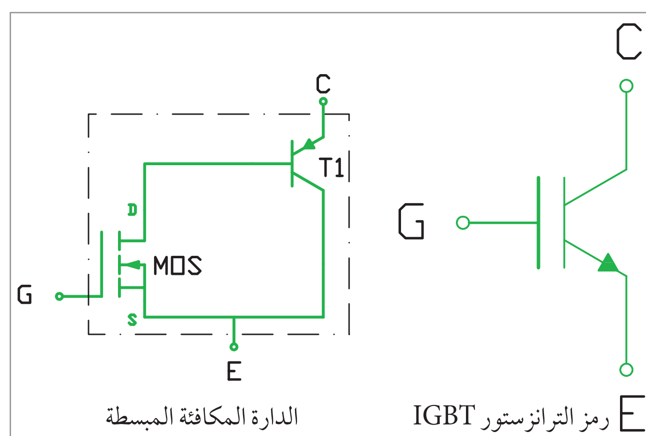
ما يميز الترانزستور MOSFET مقاومة دخله العالية؛ مما يجعل من السهل بناء دارة التحكم بالبوابة. ومن عيوبه أن مقاومته في حالة التوصيل تزداد إذا زاد جهد الانهيار وبالتالي يحدث هبوط في الجهد على أطراف الترانزستور وبالتالي يبتعد عن حالة المفتاح المثالي(مقاومته = 0 في حالة التوصيل، ومالا نهاية في حالة الفصل). إن ما يميز الترانزستور BJT مقاومته الصغيرة في حالة التوصيل، ومن عيوبه مقاومة دخله صغيرة مما يجعل من الصعب تصميم وبناء دارة التشغيل.

لقد تم تصميم ترانزستور IGBT ليجمع بين مزايا النوعين السابقين بحيث يكون مدخل المفتاح عبارة عن ترانزستور MOSFET لتكون دارة التحكم بالبوابة سهلة ويكون خرج المفتاح عبارة عن ترانزستور ثنائي القطبية BJT ليكون المفتاح قريباً جداً من المفتاح المثالي.

استخدم الترانزستور IGBT في التطبيقات التي يزيد جهدها عن 300 فولت، وفي تطبيقات ذات تيارات عالية مثل عاكسات القدرة والتحكم بسرعة المحركات.

١- تركيبه:

يبين الشكل (٤٨) الدارة المكافئةالمبسطة للترانزستور IGBT ورمزه، وتبين الدارة المكافئة أن الترانزستور يتكون من نوعين من الترانزستورات، الأول يمثل مدخل المفتاح، وهو عبارة عن ترانزستور نوع MOSFET، والآخر ترانزستور الخرج، وهو عبارة عن ترانزستور BJT، وله ثلاثة أطراف هما المجمع (Collector) والباعث (Emitter) والبوابة (Gate).



شكل (٤٨)

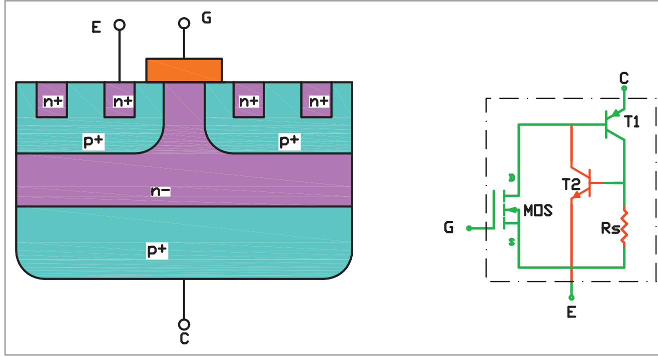
يتكون IGBT من أربع طبقات P-N-P-N وهو يحاكي الثايرستور ولكن مع اختلاف أنه يبقى على دور البوابة في التحكم بتوصيل المفتاح، بينما في الثايرستور تفقد البوابة دورها عند التوصيل، وتكون البوابة معزولة كهربائياً عن باقي أجزاء الترانزستور؛ مما يجعل مقاومة الدخل للترانزستور عالية.

٢- مبدأ العمل: [١]

في حالة العمل العادي يوصل جهد موجب إلى طرف المجمع C بالنسبة إلى الطرف الباعث E وعندما يكون طرف البوابة على جهد صفر أو سالب بالنسبة للباعث لا يمر تيار في الترانزستور $I_C = 0$، وعندما يكون جهد البوابة

(١) المادة باللون الأزرق للإطلاع فقط.

الباعث $V_{GE} > V_{TH}$ أكبر من جهد العتبة للترانزستور يسري تيار في الترانزستور $IC \neq 0$ {ويمكن تفسير ذلك فيما يلي « في الشكل (٤٩) عندما يكون جهد البوابة الباعث أعلى من جهد العتبة تعبر الإلكترونات عبر المنطقة -N التي تمثل قاعدة الترانزستور T_1 فتعمل هذه الإلكترونات على إنقاص جهد الحجز للوصلة(-P+ - N) وبذلك يسمح بالمرور للفجوات من +P إلى المنطقة N،

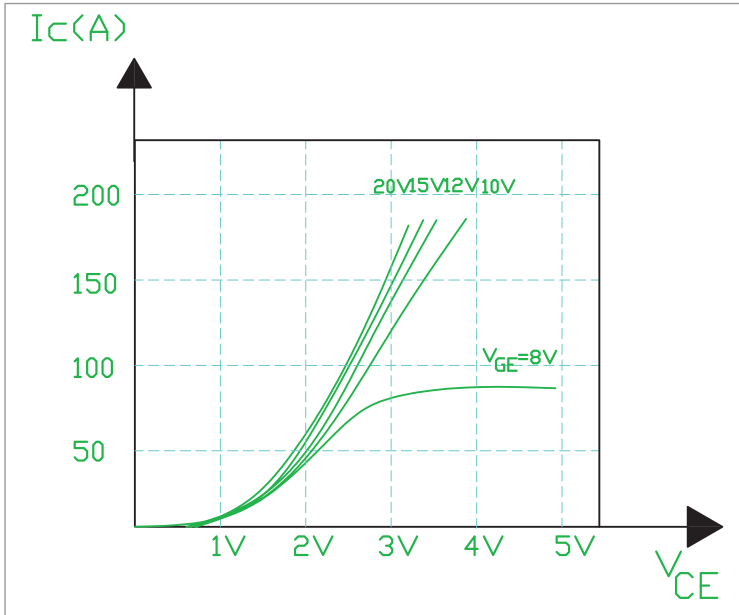


شكل (٤٩)

وزيادة عبور كل من الإلكترونات والفجوات يعمل على زيادة موصلية الطبقة -N أي نقصان مقاومتها، وتعمل المقاومة R_S على إبقاء التيار المار في الترانزستور T_2 قليل جداً (α = معامل تكبير للتيار أقل من واحد)، ولكن ماذا يحدث إذا زاد التيار المار في الترانزستور T_2 ؟

عند زيادة التيار الكلي المار في الترانزستور(I_C) بدرجة كبيرة جداً فإن هذه الزيادة تؤدي إلى زيادة التيارات المارة في الترانزستورين T_2 ، T_1 فيصبح كلاهما في حالة توصيل وهما يكافئان ثايرستور في حالة توصيل حيث تفقد البوابة القدرة على التحكم في إطفاء الترانزستور، ويتم التغلب على هذا الوضع بالتحكم بمحددات التصنيع ولا مجال لتفصيلها الآن. (للاطلاع فقط)}.

يوضح الشكل (٥٠) منحنى خصائص ترانزستور ثنائي القطبية معزول البوابة، عندما يكون الترانزستور IGBT في حالة الوصل يتغير فرق الجهد V_{CE} بموجب التيار I_C وجهد البوابة الباعث ودرجة الحرارة، ويمثل الجهد V_{CE} الهبوط في فريق الجهد على الترانزستور في حالة الوصل، وتستخدم هذه القيمة في حساب القدرة التي يبددها الترانزستور فكلما قلت قيمتها قلت القدرة المبددة في الترانزستور، فبمعرفتها نستطيع تحديد حجم المبردات اللازمة لتبريد الترانزستور والمحافظة على حرارة ثابتة لان تغير درجة الحرارة له تأثير على التيار المار في الترانزستور.



شكل (٥٠)

و يلاحظ من الشكل أن V_{CE} تزداد مع زيادة التيار المار في الترانزستور وتتناقص مع زيادة V_{GE}.

٣- فحص الترانزستور IGBT:

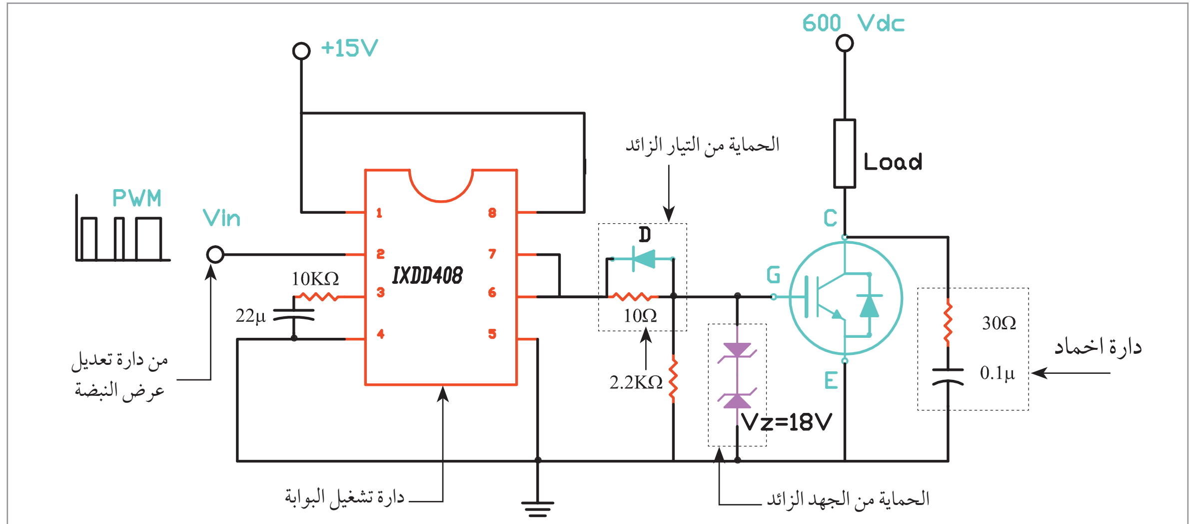
يتم فحص الترانزستور نوع IGBT بواسطة جهاز فحص الترانزستور Curve Tracer أو بواسطة ساعة الملتيمتر ويتم استخدام ساعة الملتيمتر كما في الشكل وعلى النحو الآتي:

قياس المقاومة بين البوابة والباعث : يتم قصر طرف المجمع مع طرف الباعث ، من ثم قياس المقاومة بين الباعث والبوابة ، وبين البوابة والباعث فإذا كانت ذات قيم عالية (∞) فالترانزستور سليم .

قياس المقاومة بين المجمع والباعث : يتم وضع أطراف ساعة القياس بين المجمع والباعث بحيث يكون اتجاه مرور التيار من المجمع إلى الباعث وبعدها يتم قصر طرفي الباعث والبوابة فإذا كانت المقاومة قليلة (عدة أومات) فالترانزستور تالف .

٤- دارات تشغيل الترانزستور :

يتم تشغيل الترانزستور IGBT عن طريق نبضة موجبة بعرض كاف وباتساع في حدود (15V) لوضع الترانزستور في حالة وصل ON ونبضة سالبة باتساع (15V- - 5-) لتحويل الترانزستور إلى حالة الفصل OFF . يتم الحصول على هذه النبضات بواسطة تشغيل البوابة (Gate Driver) التي تُقاد من خلال دارة تعديل عرض النبضة (Pulse Width Modulation" PWM") كما يمكن التحكم بنبضات التشغيل بواسطة المعالجات الدقيقة؛ مما يتيح تحكم مبرمج بتشغيل الترانزستور وإطفائه مما يجعل عملية التحكم سهلة ، ويجب حماية دارة البوابة من الجهد والتيار المفرطين ، فللحماية من التيار توصل مقاومة على التوالي بدارة البوابة لتحديد التيار ، وللحماية من الجهد توصل ثنائيات زينر كما في الشكل (٥١) . وتوصل دارة إخماد لحماية الترانزستور من معدل تغير الجهد .



شكل (٥١)

لإبقاء الجهد على البوابة ضمن جهد الزينر المستخدم ((VZ+VD) ±) ، وفي معظم الترانزستورات يضاف ثنائي في انحياز عكسي بين المجمع والباعث في مرحلة التصنيع ، ودور هذا الثنائي يبرز في مرحلة الإطفاء ، حيث يعمل على استعادة الطاقة المختزنة في الحمل الحثي (محرك) وإرجاعها إلى المصدر ؛ مما يقلل القدرة المبددة .

وتصنع الترانزستورات ثنائيات القطبية في دارات متكاملة تحتوي على ترانزستور واحد أو ترانزستورين أو ستة بحيث تقوم الدارة المتكاملة بعمل محدد كتلك الدارة المتكاملة المستخدمة في بناء عاكس ثلاثي الطور .

٥- تطبيقاته :

يستخدم الترانزستور في الغالب كمفتاح في تطبيقات تتطلب فتح وإغلاق في تطبيقات محددة منها :

١ . عاكسات الجهد Voltage Inverters .

٢ . التحكم بسرعة المحركات .

٣ . دارات التقطيع chopping circuits .

٤ . وحدات التغذية الكهربائية .

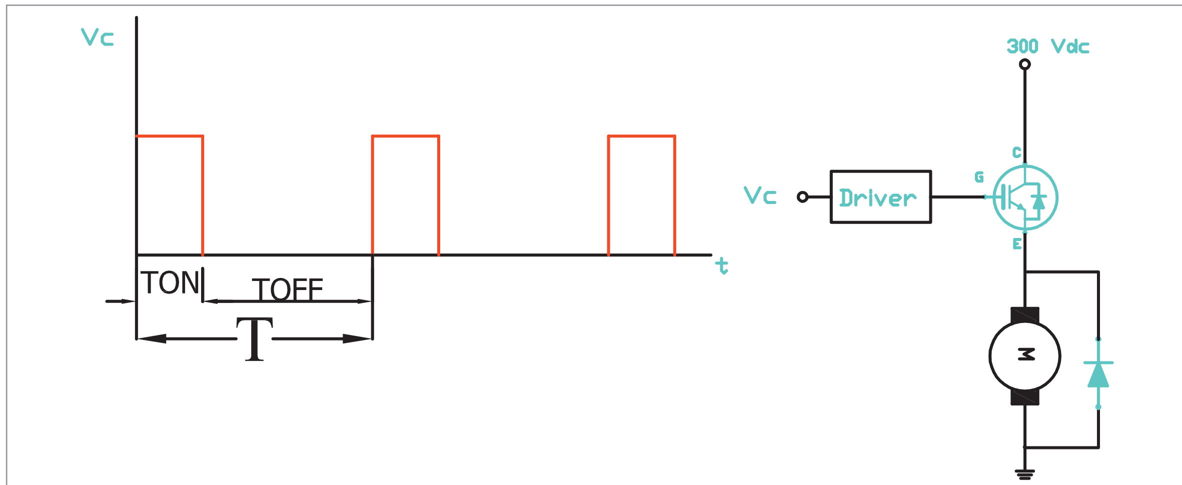
٥ . دارات تحويل جهد مباشر إلى آخر dc-dc converters .

٦ . دارات شحن البطاريات .

سنتطرق فيما يلي إلى بعض هذه التطبيقات :

اولاً : المقطع الترانزستوري (Chopping Circuit) :

يبين الشكل (٥٢) دارة للتحكم بسرعة محرك ، حيث يعمل الترانزستور معزول البوابة كمفتاح (وصل – فصل) عن طريق دارة تشغيل (Driving Circuit) ، فعندما يتم إعطاء نبضة موجبة على بوابة الترانزستور يتحول إلى حالة وصل يكون كامل جهد المصدر تقريبا مطبقاً على الحمل ، وعندما تكون النبضة على بوابة الترانزستور سالبة القيمة يتحول الترانزستور إلى حالة الفصل ويقوم الثنائي بتوفير مسار للتيار من المحرك ليحمي الترانزستور من معدل التغير للجهد ، يعمل المفتاح بالتناوب بين الوصل والفصل ، وذلك بتردد منتظم ثابت تحدده دارة تشغيل البوابة .



شكل (٥٢)

وتعطى القيمة المتوسطة للجهد على الخرج بالعلاقة التالية :

$$V_o = \frac{T_{on}}{T} V_s$$

حيث إن :

T = الزمن الدوري لدارة تشغيل البوابة ($T = \frac{1}{f} = T_{on} + T_{off}$) .

T_{on} = زمن الوصل لخرج دارة تشغيل البوابة .

V_s = جهد المصدر .

تتكون دارة تشغيل البوابة من دارة إلكترونية تعمل على مبدأ تغير عرض النبضة (Pulse Width Modulation :PWM) التي توصل إلى بوابة الترانزستور وعادة ما تستخدم دارات متكاملة بالإضافة إلى عناصر توصل خارجياً لتحديد التردد لمولد النبضات، وفي كثير من التطبيقات للترانزستور المعزول البوابة يستخدم المعالج الدقيق (Microprocessor) في التحكم بدارة تشغيل البوابة .

مثال :

في دارة المقطع الترانزستوري المبين في الشكل(٤٩) إذا كان جهد المصدر Vs=300 V وتردد الجهد الموصول على بوابة الترانزستور (f_c=1KHz) وكان T_{on}= 400µs أوجد قيمة جهد الخرج على أطراف المحرك .

الحل:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000} = 1000\ \mu s$$

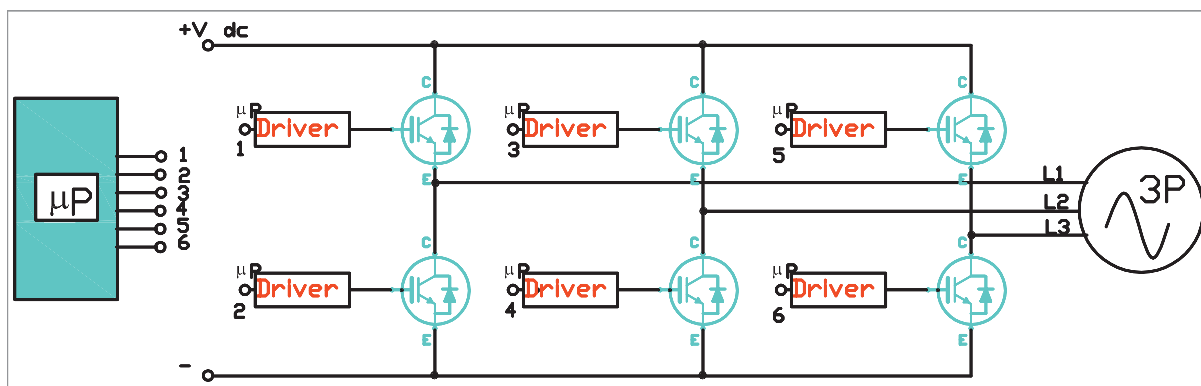
$$V_o = \frac{T_{on}}{T} V_s$$

$$= \frac{400}{1000} \times 300$$

$$= 120\ v$$

ثانيا : عاكس القدرة (Inverter)

كما في الثايرستور يتم بواسطة الترانزستور ثنائي الوصلة معزول البوابة بناء عاكس القدرة، حيث يعمل على تحويل الجهد المباشر إلى جهد متناوب، وتكون هذه العواكس أحادية الطور (1P) أو ثلاثية الطور(3P) ويبين الشكل(٥٣) دارة عاكس ثلاثي الطور ، ومع أن دارات العاكس أكثر تعقيداً، ولكن ما يظهر في الشكل يعد اللبنة الأساسية للعاكس، ودارة العاكس تحوي على دارة تحكم ومراقبة الخرج ودارات تغذية راجعة ودارات حماية، يتم التحكم في بوابات الترانزستورات بواسطة معالج دقيق يتم برمجته ليشغل كل ترانزستور في الوقت المناسب ولمدة التشغيل المناسبة، ولأهمية مثل هذه التطبيقات قامت الشركات المصنعة بتصنيع الترانزستورات في مجموعات تتكون إما من ترانزستورين وثنائيين أو ستة ترانزستورات وستة ثنائيات كما في الشكل (٥٤) .



شکل (۵۳)

شکل (۵۴)

س١ : ارسم دارة مذبذب باستخدام ثنائي شوكلي ، ثم مستعيناً بالرسم اشرح مبدأ عملها .

س٢ : اشرح عمل الثايرستور في منطقة الحجز العكسي مستعيناً بالرسم .

س٣ : اشرح عمل الثايرستور في منطقة التوصيل الأمامي مستعيناً بالرسم .

س٤ : ما المقصود بتيار القدح ، وتيار الاستمرار بالتوصيل ، وتيار البدء بالتوصيل؟

س٥ : ارسم منحنى خصائص الثايرستور ، وحدد عليه مناطق العمل .

س٦ : هل يعدّ قدح الثايرستور بزيادة معدل تغير الجهد الأمامي ميزةً أم عيباً في الثايرستور؟ وضح ذلك .

س٧ : ما عيب دارة قدح الثايرستور بالتيار المستمر؟

س٨ : علل : إن أكبر زاوية قدح يمكن الوصول إليها في دارة قدح الثايرستور بالتيار المتناوب هي 90° .

س٩ : اشرح كيف يتم حماية الثايرستور من زيادة التيار .

س١٠ : اشرح كيف يتم حماية الثايرستور من معدل التغير في الجهد .

س١١ : مما تتكون دارة الإخماد ، ما دور كل عنصر فيها ؟

س١٢ : ما عيب دارة قدح الثايرستور غير المتزامنة؟

س١٣ : ارسم دارة قدح ثايرستور متزامنة مستخدماً فيها ترانزستوراً أحادي الوصلة .

س١٤ : اشرح عمل الدارة المبينة في الشكل(٣٣) .

س١٥ : في تطبيقات التحكم بالقدرة عن طريق التحكم بزاوية القدح للترياك احسب القدرة المنقولة إلى حمل مقاومته 20Ω عند زاوية قدح $45^\circ , 22.5^\circ , 0$ إذا علمت أن جهد المصدر 220V .

س١٦ : في دارة تحكم ثنائي الموضع احسب جهد الخرج والقدرة المنقولة إلى حمل مقاومته $30\ \Omega$ إذا كان جهد المصدر 220V عند قيم $\gamma = 0.5,0.1,0.9$.

س١٧ : بين بالرسم الدارة المكافئة للترانزستور ثنائي القطبية معزول البوابة .

س١٨ : اذكر أهم استخدامات الترانزستور ثنائي القطبية معزول البوابة .

س١٩ : ما ميزات المفاتيح الساكنة على مثيلاتها الميكانيكية؟

س٢٠ : ماهو العاكس ؟ من أين برزت أهميته ؟

الوحدة

٢

الإلكترونيات الرقمية

الإلكترونيات الرقمية

أنظمة العـــد

نظام العد العشري (Decimal System):

يعد هذا النظام من أكثر الأنظمة انتشاراً ومناسبةً للإنسان، ففي الحياة الطبيعية يستعمل الإنسان النظام العشري في العمليات الحسابية المختلفة. ويسمى هذا النظام بهذا الاسم لأنه يتكون من عشرة أرقام (9,...,2,1,0) ويمكن حساب الرقم على أساس ما يعرف بمرتبة العدد.

مثال:

الرقم 222 = 2 آحاد + 2 عشرات + 2 مئات

$= 2 + 2 \times 10 + 2 \times 100$

$= 2 \times 10^0 + 2 \times 10^1 + 2 \times 10^2$

$= 2 + 20 + 200 = (222)_{10}$

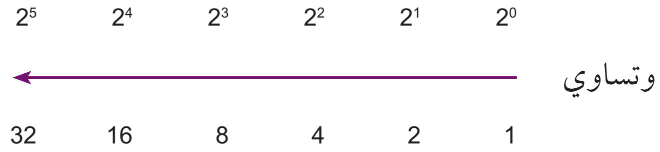
ويمكن التعبير عن الرقم باستعمال الأساس 10 مرفوعاً إليه الأس بحيث يبدأ (... 2،1،0) كما في المثال السابق.

ويمكن معرفة إلى أي نظام ينتمي هذا الرقم من خلال الرقم الذي يكتب تحت الأقواس المحيطة بالرقم مثلاً $(100)_{10}$ يدل على أن هذا الرقم ينتمي إلى النظام العشري، أما الرقم $(100)_2$ فينتمي إلى النظام الثنائي، والرقم $(100)_8$ ينتمي إلى النظام الثماني، والرقم $(100)_{16}$ ينتمي إلى النظام السادس عشر.

نظام العد الثنائي (Binary System):

سمي هذا النظام بهذا الاسم لأنه يتكون من رقمين وهما 0 , 1، ويسمى كل حد منهما الحد الثنائي (Bit) والتي هي مختصرة من كلمة (Binary Digit). وتعتمد الدوائر الإلكترونية والحواسيب في تصميمها الداخلي على هذا النظام، حيث يتم إعطاء قيمة صفر عندما يكون الجهد مساوياً للصفر، بينما يعطى الرقم 1 إذا كان الجهد مساوياً (+5V).

ويمكن التعبير عن الرقم في النظام الثنائي باستعمال الأساس 2 مرفوعاً إليه الأس حسب المرتبة بحيث يبدأ ... 0، 1، 2 ويمكن تمثيلها على خط الأعداد كالتالي:

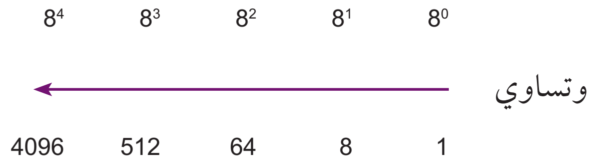


نظام العد الثماني (Octal System):

يتكون النظام الثماني من 8 أرقام (7...0). ويستخدم هذا النظام في كتابة بعض البرامج الخاصة؛ لأنها لو كُتبت بالنظام الثنائي لأدى ذلك إلى حدوث العديد من المشاكل بسبب كثرة (0,1).

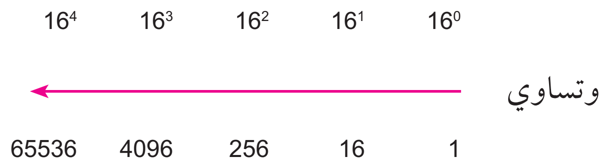
يشبه النظام الثماني النظام العشري في أول ثمانية أرقام (7...0) ويختلف عنه في كونه أن الرقمين 8.9 لا يمكن استخدامهما في النظام الثماني.

يمكن التعبير عن الرقم كما في الأنظمة الأخرى بطريقة الأس (... 0. 1. 2) للأساس 8، ويمكن تمثيلها على خط الأعداد كالتالي.



نظام العد السادس عشر (Hexadecimal System):

يعد النظام العشري مناسباً للبشر ، بينما نظام العد الثنائي يعدّ مناسباً للآلة، ويعد نظام العد السادس عشر وسطاً أو توفيقاً بينهما . وتعود أهمية النظام الثماني والنظام السادس عشر نظراً لعلاقتهما المباشرة مع النظام الثنائي وسهولة التعبير بواسطتهما عن القيم الكبيرة والصغيرة بدلاً من النظام الثنائي (في كل حد في النظام الثنائي يقابله أربعة حدود في النظام السادس عشر). وفيما يلي القيمة المكانية لخانات النظام السادس عشر ، فكل خانة تساوي 16 ضعفاً بالنسبة للخانة التي تقع على يمينها، ويمكن التعبير عنها بطريقة الأس، بحيث تبدأ من الأس 0 , 1, 2 . . . للأس 16، ويمكن تمثيلها على خط الأعداد كالتالي.



يتكون النظام السادس عشر من 16 رقماً بدلاً من 10 كما في النظام العشري، وهو يحوي كل الأعداد العشرية بالإضافة إلى الحروف (F ،E ،D ،C ،B ،A ،9 .... ،0،1) كبديل للأعداد 15 ،14، 13 ،12 ،11 ،10 .

F	E	D	C	B	A
15	14	13	12	11	10

وفيما يلي جدول يبين كيفية تمثيل الأعداد العشرية في أنظمة الأعداد المختلفة :

الرقم في النظام العشري	النظام الثنائي	النظام الثماني	النظام السادس عشر
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	2	2
3	0011	3	3
4	0100	4	4
5	0101	5	5
6	0110	6	6
7	0111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

التحويل من النظام العشري إلى النظام الثنائي

يتم التحويل من النظام العشري إلى النظام الثنائي بطريقة باقي القسمة، ويقسم العدد على (٢)، ونستمر في عملية القسمة إلى أن يصل ناتج القسمة إلى صفر، عندها تكون انتهت القسمة، ونقرأ باقي القسمة من الأسفل إلى الأعلى، وتكتب من اليسار إلى اليمين .

مثال

حول الرقم العشري $(64)_{10}$ إلى النظام الثنائي .

الحل:

	ناتج القسمة	باقي القسمة	
2	64		
2	32	0	← المرتبة الأقل أهمية (LSB)
2	16	0	
2	8	0	
2	4	0	
2	2	0	
2	1	0	
نتوقف →	0	1	← المرتبة الأكثر أهمية (MSB)

نتوقف عند الحصول على صفر في ناتج القسمة، ونقرأ الباقي الصحيح من أسفل إلى أعلى، ويكتب من اليسار إلى اليمين (من المرتبة الأكثر أهمية إلى المرتبة الأقل أهمية) . $(64)_{10} = (1000000)_2$

مثال

حول الرقم التالي إلى النظام الثنائي $(77)_{10}$

الحل:

	ناتج القسمة	باقي القسمة
2	77	
2	38	1
2	19	0
2	9	1
2	4	1
2	2	0
2	1	0
	0	1

$(77)_{10} = (1001101)_2$

وهناك طريقة أخرى يمكن من خلالها التحويل بسرعة من النظام العشري إلى الثنائي وتسمى (نظام الأوزان):

١- نضع خط الأعداد.

٢- ماهو العدد أو العددان أو أكثر التي مجموعها يساوي العدد العشري المطلوب تحويله .

٣- نضع واحداً أمام الخانة التي نريد أن نضيفها وصفراً أمام الخانة التي لانريد أن نضيف مجموعها .

مثال

أوجد $(39)_{10} = (\quad)_2$.

الحل:

	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
وتساوي	←					
	32	16	8	**4**	**2**	**1**
	1	0	0	1	1	1

$(100111)_2 = (39)_{10}$

مثال

أوجد $(77)_{10} = (\quad)_2$.

الحل:

	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
وتساوي	←						
	1	0	0	1	1	0	1
	64	32	16	**8**	**4**	2	**1**
	1	0	0	1	1	0	1

$(1001101)_2 = (77)_{10}$

تدريب ١

حول الأرقام التالية إلى النظام الثنائي بطريقتين مختلفتين .

$(100)_{10} = (\quad)_2$

$(55)_{10} = (\quad)_2$.

$(90)_{10} = (\quad)_2$.

التحويل من النظام الثنائي إلى النظام العشري

للتحويل من النظام الثنائي إلى النظام العشري يتم ضرب كل رقم من أرقام العدد في وزن الخانة الموجود فيها ، ثم بجمع هذه المضاريب نحصل على الرقم العشري .

مثال:

حول الرقم الثنائي $(101)_2$ إلى مكافئه العشري .

$$2^2 \times 1 + 2^1 \times 0 + 2^0 \times 1 = (101)_2$$

$$4 \times 1 + 2 \times 0 + 1 \times 1 =$$

$$5 = 4 + 0 + 1 =$$

$$(5)_{10} = (101)_2$$

مثال:

حول الرقم الثنائي $(1110)_2$ إلى مكافئه العشري .

الحل:

$$2^3 \times 1 + 2^2 \times 1 + 2^1 \times 1 + 2^0 \times 0 = (1110)_2$$

$$8 \times 1 + 4 \times 1 + 2 \times 1 + 1 \times 0 =$$

$$14 = 8 + 4 + 2 + 0 =$$

$$(14)_{10} = (1110)_2$$

تدريب ١

حول الأرقام الثنائية التالية إلى مكافئاتها العشرية .

$(\qquad)_{10} = (11111)_2$ $(\qquad)_{10} = (10101010)_2$ $(\qquad)_{10} = (1111001)_2$

التحويل من النظام الثنائي إلى النظام السادس عشر

للتحويل من النظام الثنائي إلى النظام السادس عشر نعد كل أربعة أرقام (خانات) تمثل رقماً (خانة واحدة) في النظام السادس عشر ، بحيث نبدأ من المرتبة الأقل أهمية (LSB) .

مثال:

حول الرقم التالي $(011011110011)_2 = (\qquad)_{16}$.

الحل:

$(011011110011)_2$

↓ ↓ ↓

6 F 3

$(6F3)_{16} = (011011110011)_2$

مثال:

حول الرقم التالي $(111111000010101100)_2 = (\qquad)_{16}$.

الحل:

$(001111110000101011 00)_2$

↓ ↓ ↓ ↓ ↓

3 A 0 F C

$(3A0FC)_{16} = (111111000010101100)_2$

التحويل من النظام السادس عشر إلى النظام الثنائي

للتحويل من النظام السادس عشر إلى النظام الثنائي نعد كل رقم في النظام السادس عشر يمثل أربعة أرقام (خانات) في النظام الثنائي .

مثال:

حول الرقم التالي $(1000)_{16} = (\qquad)_2$.

الحل:

$(1 \quad 0 \quad 0 \quad 0)_{16}$

↓ ↓ ↓ ↓

0001 0000 0000 0000

$(1000000000000)_2 = (0001000000000000)_2 = (1000)_{16}$

مثال:

حول الرقم التالي $(A29)_{16}$= $(\quad)_2$.

$(A \quad 2 \quad 9)_{16}$

↓ ↓ ↓

1010 0010 1001

$(101000101001)_2 = (A29)_{16}$

الأسئلة

س١ : أكمل الفراغات التالية :

- يعد النظام .... أكثر ألفة وانتشاراً ومناسباً بالنسبة للإنسان .
- يتكون النظام الثماني من .... أرقام وهي ....
- عند التحويل من النظام العشري إلى النظام الثنائي يتم .... (الضرب في ، القسمة على) 2 .
- تشبة عملية القسمة في النظام الثنائي عملية القسمة في النظام ....

س٢ : قم بتحويل الأرقام العشرية التالية إلى مكافئاتها الثنائية :

$(\qquad)_2 = (15)_{10}$

$(\qquad)_2 = (70)_{10}$

$(\qquad)_2 = (88)_{10}$

س٣ : قم بتحويل الأرقام الثنائية التالية إلى مكافئاتها العشرية :

$(\qquad)_{10} = (101100101010)_2$

$(\qquad)_{10} = (111001010)_2$

$(\qquad)_{10} = (0011010101010)_2$

س٤ : قم بإجراء العمليات التالية :

$(\qquad)_{16} = (101100101010)_2$

$(\qquad)_{16} = (111001010)_2$

$(\qquad)_{16} = (0011010101010)_2$

$(\qquad)_2 = (4A55)_{16}$

$(\qquad)_2 = (FEC)_{16}$

$(\qquad)_2 = (25893)_{16}$

الجبر البولي

في هذا الدرس ستتعرف على البوابات المنطقية الأساسية والمشتقة، ومن ثم نتعرف على قوانين الجبر البولي، وكيفية إثبات صحتها باستخدام الجداول المنطقية.

١- البوابات المنطقية:

تحتاج البوابات المنطقية إلى مدخلين أو أكثر لتعطي مخرجاً واحداً، وتكون القيم المدخلة لها (0 أو 1) بحيث تعطى قيمة الصفر للتعبير عن خطأ (وتعطى فرق جهد مساوٍ للصفر (0 V))، أما واحد فتعبر عن قيمة الصواب (تعطى فرق جهد مقداره (+5 V)).

ويمكن تمثيل هذه البوابات باستخدام جداول خاصة تسمى جداول الصواب (Truth Tables)، وبحسب عدد المتغيرات يكون عدد الاحتمالات الناتجة حسب العلاقة (2^n)، حيث n عدد المدخلات.

مثال:

بوابة منطقية لها مدخلان (A,B) تكون عدد الاحتمالات لهذه المتغيرات بحسب القانون السابق $2^2=4$.

ويمكن تقسيم البوابات المنطقية إلى:

١- البوابات المنطقية الأساسية: وتشمل بوابة و(AND)، أو (OR)، لا (NOT)، بوابة مصد (Buffer).

٢- البوابات المنطقية المشتقة: وتشمل (لا/ و NAND)، (لا/ أو NOR)، (استثناء/ أو XOR)، (استثناء/ لا/ أو XNOR).

البوابات المنطقية الأساسية:

بوابة (و-AND):

بوابة (و) لها مدخلان أو أكثر ومخرج واحد، وتمثل هذه البوابة عملية الضرب المنطقي، بحيث إنها تعطي قيمة واحد عندما تكون جميع المدخلات مساوية للواحد، ويمكن تمثيلها بالعلاقة التالية:

F = A . B

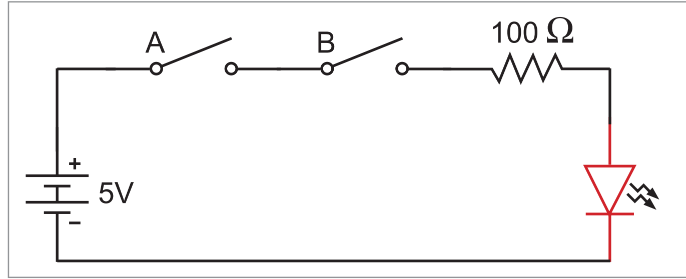
ويرمز لها:



ويمكن تمثيلها بجدول الصواب التالي:

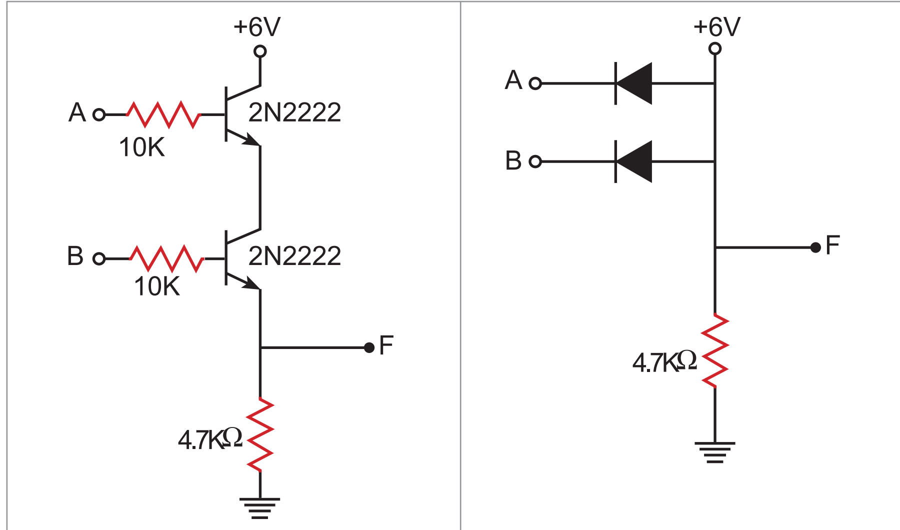
المدخلات		المخرجات
A	B	F = A . B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

يمكن تمثيل مبدأ عمل البوابة باستخدام المفاتيح كما في الشكل (١-أ) التالي :



شكل (١-أ) :

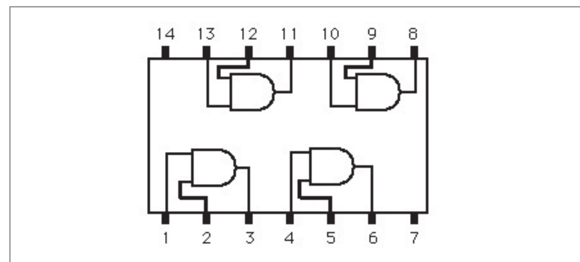
ويمكن أيضاً عمل البوابة «و» AND باستخدام الثنائيات والترانزستورات كما في الشكلين (١-ب)، (١-جـ) .



شكل (١-جـ)

شكل (١-ب)

ويتم تصنيع هذه البو ابة في رقاقة دارة متكاملة مثل 7408 التي بها أربع بوابات ذات مدخلين كما في الشكل (١-د) .



شكل (١-د) :

بوابة (أو-OR) :

بوابة (أو) لها مدخلان أو أكثر ومخرج واحد، وتستخدم هذه البوابة رمز عملية الجمع في اقترانها . ويمكن تمثيلها بالعلاقة التالية :

F = A + B

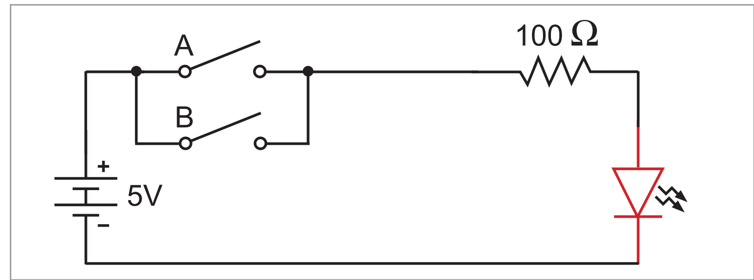
ويرمز لها :

A
B
F

ويمكن تمثيلها بجدول الصواب التالي :

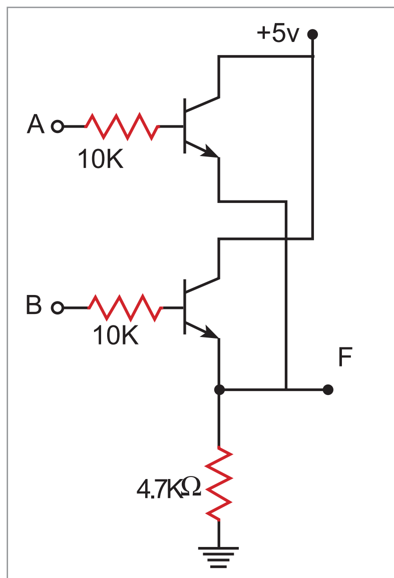
المدخلات		المخرجات
A	B	F = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

ويمكن تمثيل مبدأ عمل البوابة باستخدام المفاتيح كما في الشكل (٢-أ) .



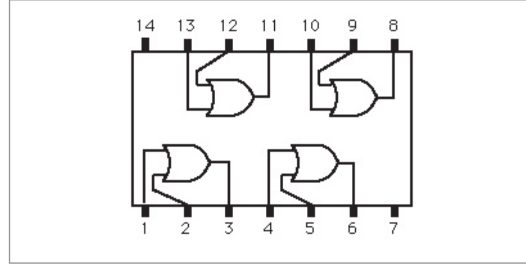
شكل (٢-أ) :

ويمكن تمثيل بوابة «أو» OR باستخدام الترانزستورات كما في الشكل (٢-ب) .



شكل (٢-ب) :

ويتم تصنيع هذه البو ابة في رقاقة دارة متكاملة مثل 7432 التي بها أربع بوابات ذات مدخلين كما في الشكل (٢-ج).



شكل (٢-ج):

بوابة (لا-NOT):

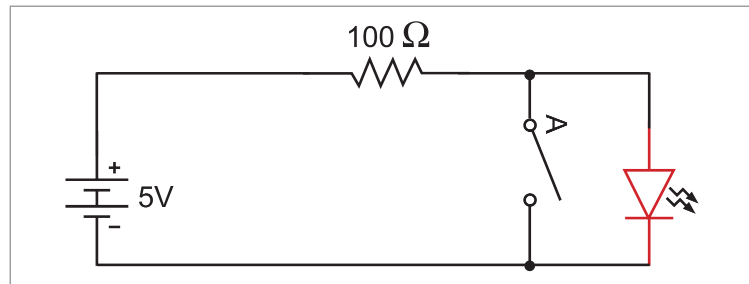
تختلف هذه البوابة عن البوابتين السابقتين بأنها تحتاج إلى مدخل واحد فقط لتعطي النتيجة، وتقوم هذه البوابة بعكس النتيجة؛ لذا تسمى بالعاكس أو المتممة، بحيث تكون النتيجة 1 عندما يكون المدخل صفراً والعكس صحيح، ويمكن تمثيلها بالعلاقة التالية:

$F = \bar{A}$ ويرمز لها: A —▷o— F

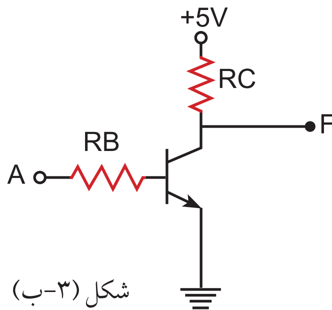
ويمكن تمثيلها بجدول الصواب التالي:

المدخلات	المخرجات
A	$F = \bar{A}$
0	1
1	0

ويمكن تمثيل مبدأ عمل البوابة باستخدام المفاتيح كما في الشكل (٣-أ):



شكل (٣-أ)



شكل (٣-ب)

ويمكن تمثيل هذه البوابة باستخدام الترانزستور كما في الشكل (٣-ب):

بوابة (مصد-BUFFER):

هذه البوابة لها مدخل واحد، ويمكن تمثيلها بالعلاقة التالية:

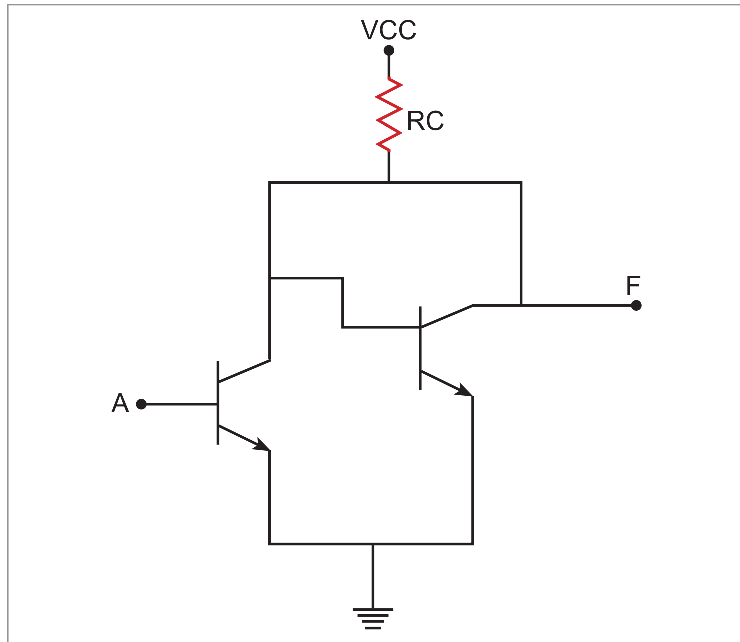
$F = A$

ويرمز لها : A → F

وتستخدم هذه البوابة في إعادة تقوية الإشارة . ويعبر عنها بالجدول التالي :

المخرجات	المدخلات
F= A	A
0	0
1	1

ويمكن تمثيل مبدأ عمل البوابة باستخدام الترانزستور كما في الشكل التالي :



شكل (٤):

البوابات المنطقية المشتقة:

بوابة (لا/ و-NAND) :

تتكون هذه البوابة من بوابة (و) يتبعها بوابة (لا) وتكون النتيجه مساوية للصفر إذا كانت المدخلات مساوية للواحد، وتمثل بالعلاقة التالية :

$F = \overline{A.B}$

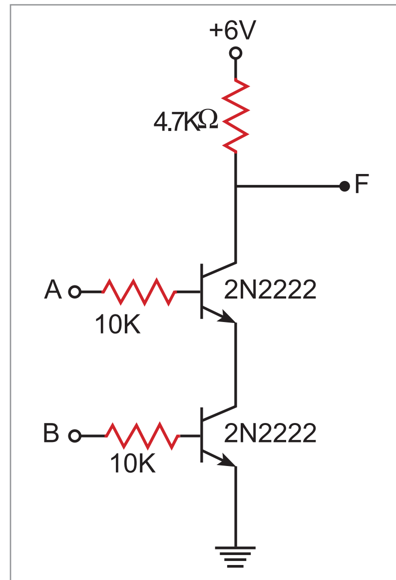
ويرمز لها : A، B → F

والتي يمكن تمثيلها بالشكل التالي : A، B → F

وتمثل بالجدول التالي :

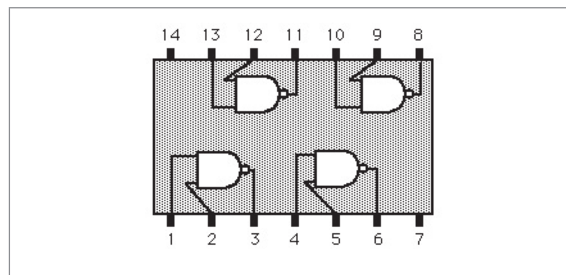
المدخلات		المخرجات
A	B	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ويتم تمثيل هذه البوابة باستخدام الترانزستورات كما في الشكل (٥-أ).



شكل (٥-أ):

ويتم تصنيع هذه البو ابة في رقاقة دارة متكاملة مثل 7403 التي بها أربع بوابات NAND ذات مدخلين كما في الشكل (٥-ب).



شكل (٥-ب):

بوابة (لا/ أو - NOR):

تتكون هذه البوابة من بوابة (أو) يتبعها بوابة (لا) وتكون النتيجه مساوية للواحد إذا كانت جميع المدخلات مساوية للصفر، وتمثل بالعلاقة التالية:

$$F = \overline{A+B}$$

ويرمز لها : A, B — F

والتي يمكن تمثيلها بالشكل التالي :

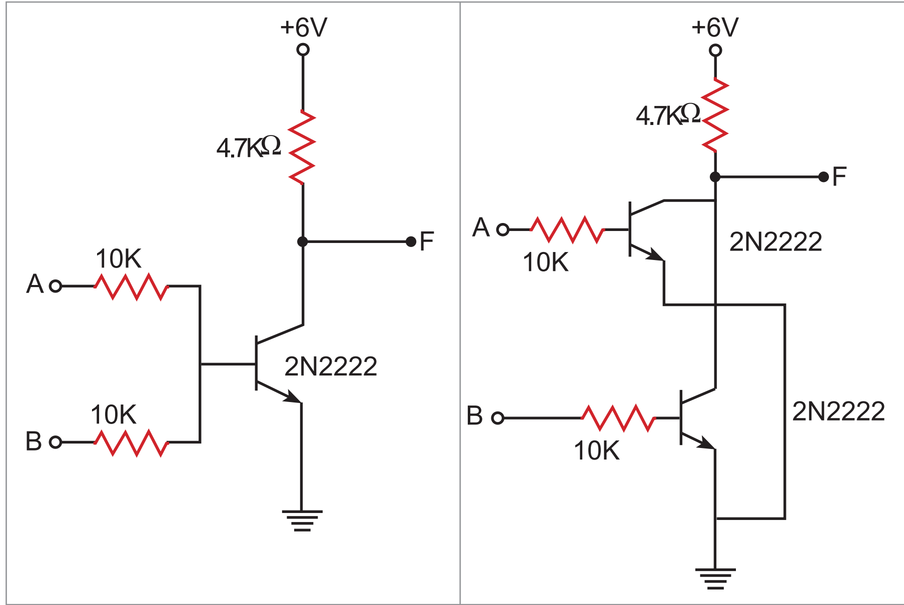
A
B
F

وتمثل بالجدول التالي :

المخرجات	المدخلات	
F	B	A
1	0	0
0	1	0
0	0	1
0	1	1

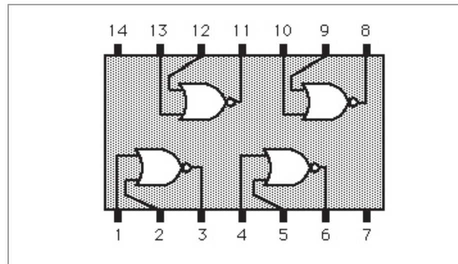
■ **أينما وردت الدائرة في مقدمة البوابة فهي ترمز إلى عملية النفي .**

ويمكن تمثيل هذه البوابة باستخدام الترانزستورات كما في الشكل (٦-أ) أو (٦-ب) .



شكل (٦-ب) شكل (٦-أ)

وتصنع هذه البوابة على شكل رقاقة دارة متكاملة مثل 7402 التي بها أربع بوابات ذات مدخلين كما في الشكل (٦-ج) .



شكل (٦-ج):

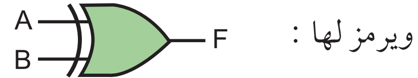
بوابة (استثناء/ أو–XOR) :

تكون نتيجة هذه البوابة مساوية للواحد إذا كانت مدخلاتها مختلفة ، وتمثل بالعلاقة التالية :

$$F = \overline{A}B + A\overline{B}$$

$$= A \oplus B$$

ويرمز لها :



وتمثل بالجدول التالي :

المدخلات		المخرجات
A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

بوابة (استثناء/ لا/ أو–XNOR) :

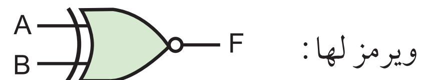
هي عبارة عن بوابة (استثناء/ أو) متبوعة ببوابة (لا)، وتكون نتيجة هذه البوابة مساوية للواحد إذا كانت مدخلاتها متشابهة ، وتمثل بالعلاقة :

$$F = A.B + \overline{A}.\overline{B}$$

$$= \overline{A \oplus B}$$

$$= A \odot B$$

ويرمز لها :



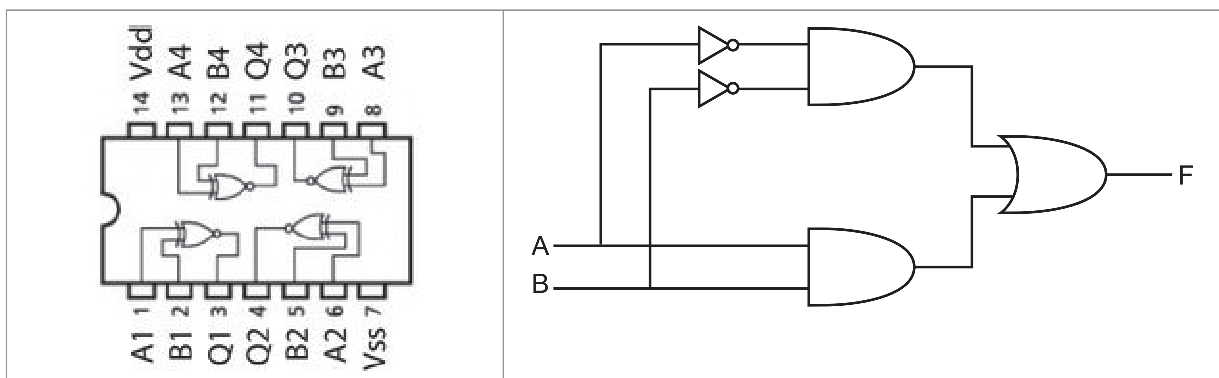
وتمثل بالجدول التالي :

المدخلات		المخرجات
A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

يتم عمل بوابة XNOR باستخدام بوابة XOR مع بوابة «لا–NOT» أو يتم عملها باستخدام البوابات الاساسية كما في الشكل (٧–أ) .

سؤال : تحقق من أن هذه الدارة تكافئ بوابة XNOR باستخدام جدول الصواب .

وتصنع هذه البوابة على شكل رقاقة دارة متكاملة مثل 74135 التي بها أربع بوابات كما في الشكل (٧-ب) .



شكل (٧-أ)   شكل (٧-ب)

الخلاصة :

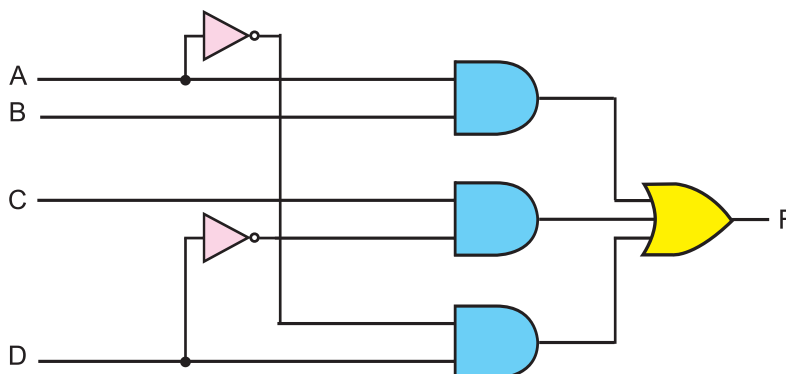
INPUT		AND	OR	NOT	NAND	NOR	XOR	XNOR
A	B	A . B	A + B	$\bar{A}$	$\overline{AB}$	$\overline{A+B}$	$A \oplus B$	$A \otimes B$
0	0	0	0	1	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	0	0	1

تمثيل الاقتران باستخدام البوابات المنطقية .

مثال ١:

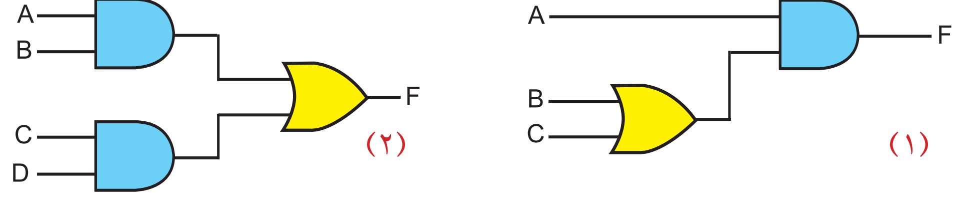
ارسم الاقتران التالي باستخدام البوابات المنطقية : $F = AB + C\bar{D} + \bar{A}D$

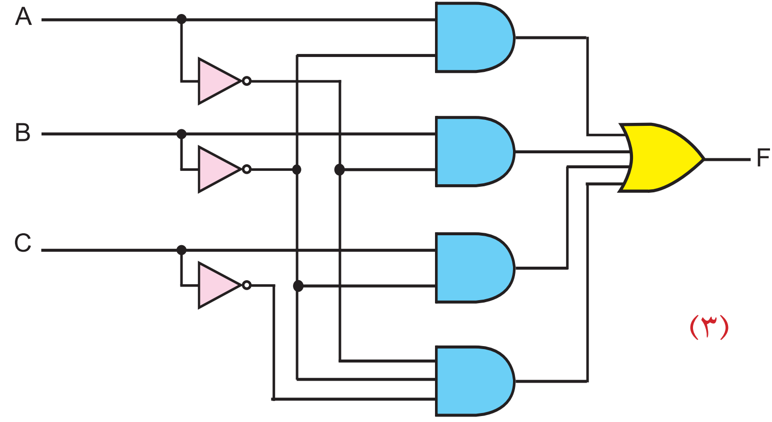
الحل



مثال ٢:

اكتب الاقتران المناسب للدارات التالية :





الحل:

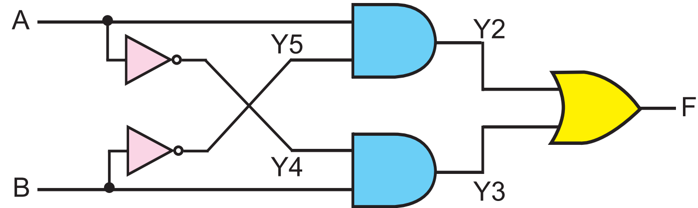
شكل (١) : $F = A.(B + C)$

شكل (٢) : $F = AB + CD$

شكل (٣) : $F = A\overline{B} + \overline{A}B + C\overline{B} + \overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}$

مثال ٣:

في الدارة التالية إذا كانت A=1, B= 0



١- ما قيمة F؟

٢- اكتب الاقتران المناسب لهذه الدائرة .

٣- ما جدول الصواب لهذه الدائرة؟

الحل:

١- $F = 1$

٢- لمعرفة قيمة الاقتران نتتبع الدائرة ابتداءً من المخرجات إلى أن نصل إلى المدخلات مروراً بالنقاط الوسطية .

$$Y1 = Y2 + Y3$$
$$Y2 = Y5 . A$$
$$Y3 = Y4 . B$$
$$Y4 = \bar{A}$$
$$Y5 = \bar{B}$$

وبالتعويض نحصل على الاقتران .

$$F = \bar{A} B + A \bar{B} = A \oplus B$$

٣- جدول الصواب الخاص بهذه الدائرة :

مداخل		نقاط فحص (وسطية)				مخارج
A	B	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{A}B$	$A\bar{B}$	F
0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0

مثال ٤:

اكتب اقتراناً يمثل جدول الصواب التالي :

A	B	C	F
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

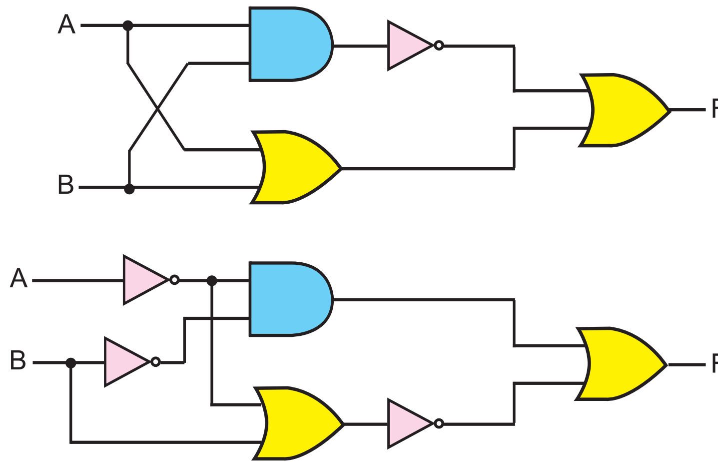
الحل:

لاستنتاج الاقتران من جدول الصواب نقوم بتحديد المخرجات التي ناتجها مساوٍ للواحد ومن ثم نبدأ باستنتاج المدخلات حيث يتم التعبير $0 \Leftarrow \bar{A}, 1 \Leftarrow A$ وهكذا :

$$F = \overline{ABC} + \bar{A} B C + A\bar{B} C$$

تدريبات

١- في الدارات التالية، أوجد الاقتران المناسب، واكتب جدول الصواب المناسب :



٢- ارسم الدوائر المناسبة للاقترانات التالية :

أ- $F = \overline{AB} + \overline{A}\,B + AB$

ب- $F = AC + BD$

٢- قوانين الجبر البولي (BOOLEAN ALGEBRA):

تساعد قوانين الجبر البولي المصمم للدوائر المنطقية كي يختصر الاقترانات إلى أبسط صورة ممكنة، وبالتالي تقليل عدد الرقاقات المطلوبة لتنفيذ الاقتران إلى الحد الأدنى، كما تساعد عملية الاستبدال للبوابات ببوابات مكافئة على تقليل التنوع في الرقاقات المستخدمة. فيما يلي سرد لقوانين الجبر البولي :

١- قانون التبديل :

$A + B = B + A$

$A.B = B.A$

٢- قانون التجميع :

- $(A + B) + C = A + (B + C)$
- $(A.B).C = A.(B.C)$

٣- قانون التوزيع :

- $A.(B + C) = A.B + A.C$
- $A + (B.C) = (A + B).(A + C)$

٤- قانون التماثل :

- $A + A = A$
- $A.A = A$

٥- قانون النفي المزدوج :

- $\overline{\overline{A}} = A$

٦- قانون الانفراد للمتغير المنطقي :

- إذا كانت $A \neq 0$ فإن $A = 1$
- إذا كانت $A \neq 1$ فإن $A = 0$

٧- قانون الاختزال :

- $A + A.B = A$
- $A.(A + B) = A$

٨- قانون عمليات الواحد :

- $1 + A = 1$
- $1.A = A$

٩- قانون عمليات الصفر :

- $0 + A = A$
- $0.A = 0$

١٠- قانون التكملة :

- $\bar{A} + A = 1$
- $\bar{A}.A = 0$

١١- قانونا دي مورجان :

- $(\overline{A+B}) = \bar{A}.\bar{B}$
- $(\overline{A.B}) = \bar{A} + \bar{B}$

ويمكن إثبات صحة هذه القوانين بعدة طرق منها استخدام جداول الصواب :

مثال ٥:

أثبت أن : $A.(B + C) = A.B + A.C$ باستخدام جداول الصواب :

الحل:

A	B	C	B +C	A.(B+C)	A.B	A.C	A.B+A.C
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1

=

أي أن : $A.(B+C) = A.B + A.C$

مثال ٦:

باستخدام جداول الصواب أثبت أن : $(\overline{A+B}) = (\overline{A}.\overline{B})$

الحل:

A	B	A + B	$\overline{A+B}$	$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A}.\overline{B}$
0	0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0

=

أي أن : $(\overline{A+B}) = (\overline{A}.\overline{B})$

مثال ٧:

باستخدام قوانين الجبر البولي اختزل الاقتران التالي :

$F = \overline{A}.B.C + A.C$

الحل:

$F = \overline{A}.B.C + A.C$

$= C.(\overline{A}.B + A)$

$= C.((A + B).(A + \overline{A}))$

$= C.(A + B).1$

$= C.(A + B)$

$F = \overline{A}.B.C + A.C = C.(A+B)$

مثال ٨:

باستخدام قوانين الجبر البولي اختزل الاقتران التالي :

$F = \overline{A}.B.(\overline{D} + \overline{C}.D) + B.(A + \overline{A}.C.D)$

الحل:

$F = \overline{A}.B.(\overline{D} + \overline{C}.D) + B.(A + \overline{A}.C.D)$

$= \overline{A}.B.\overline{D} + \overline{A}.B.\overline{C}.D + A.B + \overline{A}.B.C.D$

$= \overline{A}.B.\overline{D} + A.B + \overline{A}.B.D\,(C + \overline{C})$

$= \overline{A}.B.\overline{D} + A.B + \overline{A}.B.D$

$= \overline{A}.B.(\overline{D} + D) + A.B$

$= \overline{A}.B + A.B$

$= B.(\overline{A} + A) = B . 1$

$F = \overline{A}.B.(\overline{D} + \overline{C}.D) + B.(A+ \overline{A}.C.D) = B$

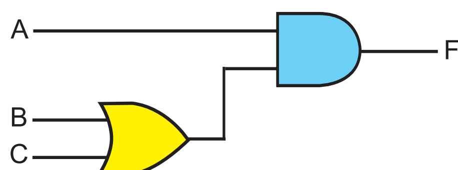
٣- تمثيل البوابات المنطقية الأساسية AND, OR, NOT باستخدام بوابة NAND:

يمكن استبدال البوابات الأساسية باستخدام بوابة NAND فقط كما يلي :

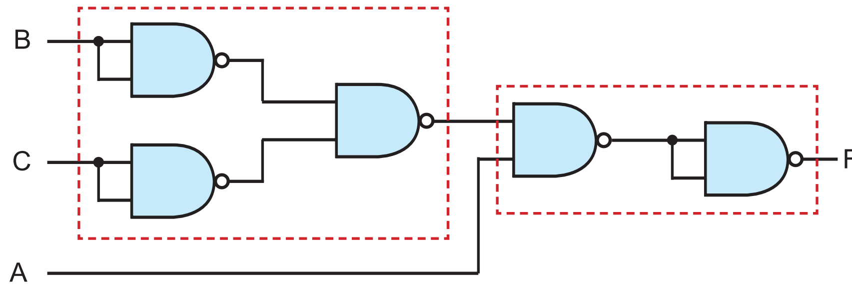
A, F	A, F = $\overline{(A.A)} = \overline{A}$
NOT	
A, B, F	A, B, F = $\overline{\overline{(A.B)}} = A.B$
AND	
A, B, F	A, B, F = $\overline{(\overline{A}.\overline{B})} = \overline{\overline{A}} + \overline{\overline{B}} = A + B$
OR	
A, B, F	A, B, F = $\overline{\overline{(\overline{A}.\overline{B})}} = \overline{(A+B)}$
NOR	

مثال ٩:

أعد بناء الدارة التالية باستخدام بوابات لا/ و NAND فقط .



الحل:



ملاحظة : إذا التقت بوابتا NOT متتاليتان، يتم إلغاؤهما .

أسئلة:

١ . ارسم رمز البوابة وجدول الصواب، واكتب الاقتران لكل بوابة من البوابات التالية :

أ – OR   ب– AND   جـ– NOT   د– Buffer

هـ– NAND   و– NOR   ز– XOR   ح– XNOR

٢ . املأ الفراغات التالية بما يناسبها :

أ– يمكن تمثيل قانون النفي المزدوج بالعلاقة التالية ....

ب– يمكن تمثيل قانون التكملة لعملية الجمع بالشكل التالي ....

.... أما لعملية الضرب فبالشكل التالي ....

٣ . ضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة و(X) أمام العبارة غير الصحيحة :

(   ) أ– لا يمكن تمثيل بوابة NOT باستخدام بوابة NAND .

(   ) ب– يمكن تمثيل أي بوابة منطقية باستخدام بوابات NOT فقط .

(   ) جـ– يعبرعن قانون النفي المزدوج بالعلاقة التالية A = A .

(   ) د– 1+A = 0 يسمى قانون عملية الصفر .

(   ) و– تعدّ بوابة AND وبوابة NOT من البوابات المنطقية الاساسية .

٤ . أعد تمثيل البوابات المنطقية الأساسية، باستخدام بوابة (لا/ أو) NOR ؟

استخدام جدول الصواب لتمثيل الاقترانات البولية

يستخدم جدول الصواب عادة لتحديد الاقتران البولي . حيث توضع كل متغيرات المداخل والمخارج في أعلى الجدول . ولكل مجموعة من قيم المداخل قيم تحديد مخرج الاقتران المناظر إما بقيمة 0 أو 1 .

لنأخذ مثلا الجدول التالي :

	A	B	C	F(A,B,C)	Product terms حدود الضرب
0	0	0	0	0	$\bar{A}\bar{B}\bar{C}$
1	0	0	1	1	$\bar{A}\bar{B}C$
2	0	1	0	1	$\bar{A}B\bar{C}$
3	0	1	1	0	$\bar{A}BC$
4	1	0	0	0	$A\bar{B}\bar{C}$
5	1	0	1	1	$A\bar{B}C$
6	1	1	0	1	$AB\bar{C}$
7	1	1	1	0	ABC

من الجدول نستنتج أن الاقتران F يساوي $F(A, B, C) = \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C} + A\bar{B}C + AB\bar{C}$

من مساوئ استخدام جداول الصواب في تمثيل الاقترانات البولية هو حجم الجدول وحجم الاقتران عندما يصبح عدد المتغيرات كبيراً. فعدد الخانات المطلوبة في الجدول يكون 2^n حيث n تمثل عدد المتغيرات. وبالتالي يصبح استخدام الجدول يتطلب جهداً ووقتاً كبيراً بالإضافة إلى حدوث أخطاء. لذلك يتم استخدام ما يسمى خريطة كارنوف Karnaugh Map لتبسيط الاقترانات البولية.

١- تبسيط الاقترانات البولية:

يمكن استخدام طريقة (Sum-of-product) (للقيم المناظرة) لتوليد أي اقتران بولي من خلال جدول الصواب. ومن ثم يتم تمثيل الاقتران باستخدام البوابات المنطقية. إلا أن هذه الطريقة لا تعطي أفضل طريقة لتمثيل الاقتران، لأنه من المطلوب أن يتم استخدام أقل عدد من البوابات المنطقية لتمثيل الاقتران.

ولذلك لا بد من ايجاد أسهل دارة تمثل الاقتران بأقل عدد من البوابات لأن ذلك يعني تقليل التكلفة وتصغير الحجم ويحسن من أداء الدارة، وأحياناً السرعة. ويتم تبسيط الدارة عن طريق تبسيط الاقتران إلى أكبر درجة ممكنة. وهذه الحاجة تظهر عند تصميم الدارات المنطقية.

وإحدى الطرق المستخدمة لتبسيط الاقترانات هي استخدام قوانين الجبر البولي التي مرت سابقاً.

مثال:

أثبت أن: $AB + A\bar{B} = A$

الحل:

١- باستخدام خاصية التوزيع $A(B+\bar{B})$

٢- بتطبيق القانون العكسي $A1$

٣- باستخدام خاصية التبديل $1A$

٤- باستخدام قانون التماثل A

إذن نستنتج أن: $AB + A\bar{B} = A$

٢- خريطة كارنوف: Karnaugh Map (K-MAP)

يتم استخدام K-MAP بالاعتماد على العلاقة $AB + A\overline{B} = A$ لتبسيط الاقترانات البولية وبالتالي تبسيط الدارة الرقمية . وتعدّ طريقة K-MAP طريقة فعالة لتبسيط الاقترانات لحد 6 متغيرات . وإذا كان عدد المتغيرات أكبر من ستة يتم استخدم طريقة (Quine-Mckluskey) التي لا مجال للتطرق إليها في هذا الكتاب .

تستخدم خريطة K-map مستطيلات تقسم في أعمدة وصفوف بحيث أن أي حد ضرب (Product term) يمكن الحصول عليه من تقاطع صف وعمود . يتم رسم كل صف وعمود بكل حد من الاقتران والمتمم لهذا الحد . ويتم الرسم بطريقة بحيث أن أي حركة أفقية أو عمودية تغير حالة متغير واحد فقط .

ولاستخدام K-map في تبسيط الاقترانات يتم عمل ما يلي :

١- نرسم خريطة مربعات ، بحيث يكون هناك مربع لكل حد ضرب (Product term) .

٢- لكل حد ضرب (Product term) في التعبير المطلوب تبسيطه نضع علامة 1 في المربع الذي يمثله .

٣- نرسم حلقة حول الحدود المتجاورة . والحلقة تكون إما أفقية أو عمودية فقط . يتم استخدام المربع في أكثر من حلقة .

٤- لكل حلقة لا تكتب الحد المكرر إلا مرة واحدة .

٥- إذا ظهر الحد ومتممه أخرج من التعبير .

٦- نكتب التعبير للحدود المتبقية .

٧- نكتب مجموع الحدود في البند ٥ ، يكون ذلك هو الاقتران المبسط .

ويكون الشكل العام لخريطة كارنوف لمتغيرين كما في الشكل المجاور .

A \ B	$\overline{B}$ 0	B 1
$\overline{A}$ 0	0	1
A 1	2	3

مثال:

K-map **لمتغيرين** : لنبدأ بالتعبير $AB + A\overline{B}$ وهو من متغيرين نرسم مربعاً ونقسمه إلى عمود وصف لكل متغير وقيمته . نضع 1 في كل مربع يمثل حداً من حدود الاقتران . الحد الأول هو A B ، ولذلك نضع 1 في المربع الأسفل من اليمين .

والحد الثاني $A\overline{B}$ لذلك نضع 1 في المربع الأسفل من اليسار . نرسم حلقة حول الحدين المتجاورين .

A \ B	0	1
0		
1	1	1

K- map للاقتران $AB + A\overline{B}$

لاحظ أن الحلقة تحتوي على الحدود $A,B,A,\overline{B}$ ولذلك نحذف A واحدة ، وكذلك $B+\overline{B}$ يساوي صفراً ، ويتبقى فقط A . إذن تم تبسيط التعبير $AB+A\overline{B}$ إلى A .

مثال:

لنأخذ الاقتران $\bar{A}\,\bar{B}+A\,\bar{B}+\bar{A}\,B$ ونريد أن نكتبه بأبسط صورة.

A \ B	$\bar{B}$ 0	B 1
$\bar{A}$ 0	1	1
A 1	1	

K- map للاقتران
$\bar{A}\,\bar{B}+A\,\bar{B}+\bar{A}\,B$

الحل:

بما أنه يتكون فقط من متغيرين، فإننا نرسم المربعات كما يلي (كما في المثال السابق). ونقوم بالخطوات التالية:

١- نضع 1 في المربع الذي يمثل الحد $A\bar{B}$

٢- نضع 1 في المربع الذي يمثل الحد $\bar{A}B$

٣- نضع 1 في المربع الذي يمثل الحد $\bar{A}\,\bar{B}$

٤- نرسم حلقات حول المربعات المتجاورة.

بسبب وجود حلقتين، فإنه سيكون هناك حدان في الاقتران المبسط. تحتوي الحلقة العمودية على الحدود $\bar{A}\,\bar{B}\,,\bar{A}\,B$. ولذلك نحذف المتغير المكرر.

وكذلك $B+\bar{B}=1$، إذاً يتبقى الحد $\bar{A}$.

تحتوي الحلقة الأفقية على الحدود $\bar{A}\,\bar{B}\,,\bar{A}\,B$ ولذلك يتبقى فقط الحد $\bar{B}$.

إذن تصبح النتيجة $\bar{B}+\bar{A}$. ومنها تستنتج أن $A\,\bar{B}+\bar{A}\,B+\bar{A}\,\bar{B}=\bar{A}+\bar{B}$

مثال:

K-map: لثلاثة متغيرات:

يبين الشكل التالي MAP-K لثلاثة متغيرات.

وكما في حالة المتغيرين، فإن المربعات المتجاورة تختلف فقط في حالة تغير واحد. تعدّ الأطراف (يميناً ويساراً) وأعلى وأسفل متجاورة كما لوأنها ملفوفة على أسطوانة.

A \ BC	$\bar{C}$ 00	C 01	C 11	$\bar{C}$ 10
$\bar{A}$ 0	000 0	001 1	011 3	010 2
A 1	100 4	101 5	111 7	110 6
	$\bar{B}$	$\bar{B}$	B	B

K- map لثلاثة متغيرات

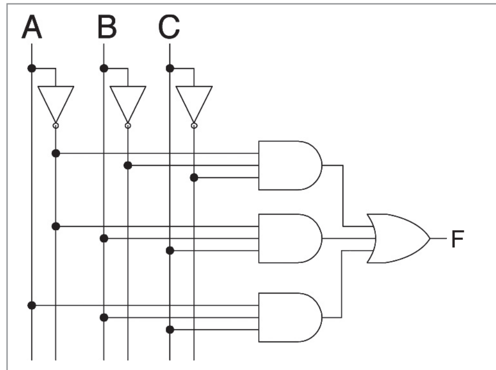
مثال:

يوضح الجدول التالي جدول الصواب لأحد الاقترانات البولية. المطلوب هو أن نجد الاقتران ونمثله بالدارات المنطقية. بعد ذلك نستخدم K-map لتبسيط الاقتران ونمثله بالدارات المنطقية.

	A	B	C	F	Product terms
0	0	0	0	1	$\bar{A}\,\bar{B}\,\bar{C}$
1	0	0	1	0	
2	0	1	0	0	
3	0	1	1	1	$\bar{A}\,B\,C$
4	1	0	0	0	
5	1	0	1	0	
6	1	1	0	0	
7	1	1	1	1	$A\,B\,C$

الاقتران هو $F = \bar{A}\,\bar{B}\,\bar{C} + \bar{A}\,B\,C + A\,B\,C$

وتكون الداراة المنطقية التي تمثله كما في الشكل التالي :



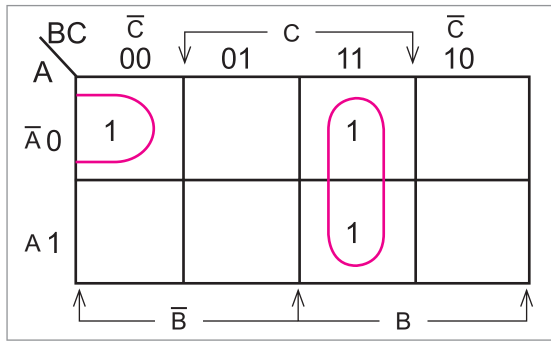
تمثيل الدارة المنطقية للاقتران في المثال

لاحظ أن الجدول أنتج اقتراناً بثلاثة حدود .

تقاس عادة درجة تعقيد الدارة بعدد مداخل البوابات .

لاحظ أن الدارة السابقة تحتوي على 15 مدخلاً (11 بوابة) .

والآن نستخدم K-Map لتبسيط الاقتران كما في الشكل التالي :



K- map للاقتران $F = \bar{A}\,\bar{B}\,\bar{C} + \bar{A}\,B\,C + A\,B\,C$

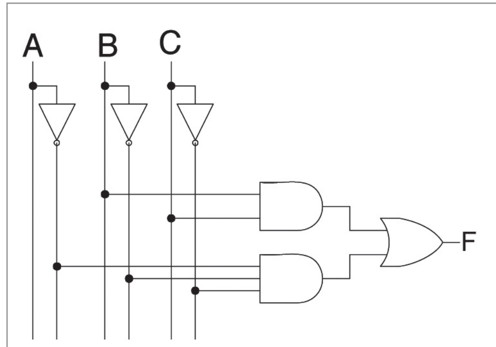
لاحظ أن الحلقة تحيط بالحدود $\bar{A}BC$, ABC

وهما الحدان المتجاوران على ظهر الأسطوانة .

وبما أن $A+\bar{A}=1$ إذن يتبقى BC فقط .

يمثل الحد $\bar{A}\,\bar{B}\,\bar{C}$ مربعاً بحد ذاته .

إذن يصبح الاقتران $F = BC + \bar{A}\,\bar{B}\,\bar{C}$



الدارة المنطقية المبسطة لجدول الصواب للاقتران
$F = BC + \bar{A}\,\bar{B}\,\bar{C}$

والدارة المناظرة له كما في الشكل التالي :

لاحظ أن عدد المداخل في هذه الدارة أصبح عشرة بدلاً من 15 كما كان في التمثيل السابق (عدد البوابات 6) .

سؤال:

اختزل الاقتران $F = \bar{A}\,\bar{B}\,\bar{C} + \bar{A}\,B\,\bar{C} + A\,B\,\bar{C}$ باستخدام K-MAP .

مثال:

يمثل الجدول التالي جدول الصواب لاقتران بولي .

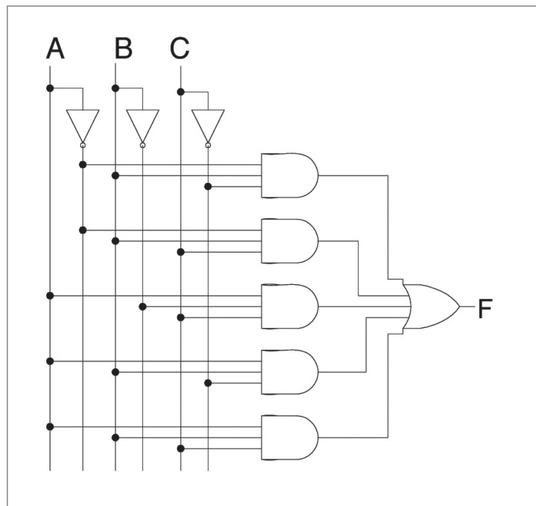
المطلوب : ١- اشتقاق الاقتران من الجدول وتمثيله بالبوابات المنطقية .

٢- استخدام K-map لتبسيط الاقتران ومن ثم تمثيله بالبوابات المنطقية .

	A	B	C	F	Product terms
0	0	0	0	0	
1	0	0	1	0	
2	0	1	0	1	$\bar{A}\,B\,\bar{C}$
3	0	1	1	1	$\bar{A}\,B\,C$
4	1	0	0	0	
5	1	0	1	1	$A\,\bar{B}\,C$
6	1	1	0	1	$A\,B\,\bar{C}$
7	1	1	1	1	$A\,B\,C$

١- من الجدول يكون الاقتران كما يلي : $F = \bar{A}B\bar{C} + \bar{A}BC + A\bar{B}C + AB\bar{C} + ABC$

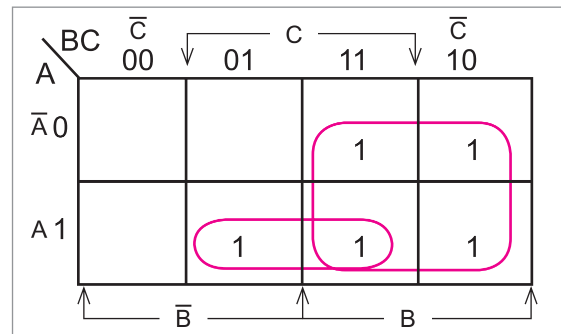
ويتم تمثيله بالبوابات المنطقية كما في الشكل (١):



شكل (١): الدارة المنطقية لجدول الصواب أعلاه

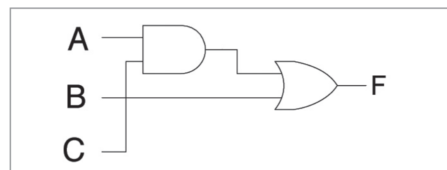
٢- استخدام K-map:

نرسم المتسطيلات ونضع 1 في المربعات التي تناظر حدود الاقتران كما في الشكل (٢).



شكل (٢): K- map للاقتران

$F = \bar{A}\,B\,\bar{C} + \bar{A}BC + A\bar{B}C + AB\bar{C} + ABC$



شكل (٣):

بعد إزالة التكرار، تحتوي الحلقة الكبرى على $A,\bar{A}$ $C,\bar{C}$ وبالتالي تلغى . ويتبقى B، تحتوي الحلقة الصغيرة على $AC,\bar{B},B$ إذن يتبقى

AC فقط وبالتالي يكون الاقتران : $F = B + AC$

ويمكن تمثيله بالبوابات المنطقية كما في الشكل (٣) :

لاحظ أنه تم تبسيط الدارة من 9 بوابات و23 مدخل إلى بوابتين لكل منهما مدخلان وعدد المداخل للبوابات فقط 3 .

أسئلة

١- أعد تمثيل جميع الأشكال باستخدام بوابات NAND ذات مدخلين فقط .

٢- اشتق جدول الصواب للاقتران $F = B + AC$ وقارنه بجدول الصواب في المثال الأخير .

٣- استخدم K-map لتبسيط الاقتران $F = A B C + A \overline{B} \overline{C} + \overline{A} \overline{B} \overline{C}$

٤- باستخدام K-map هل $AB+\overline{A}C+BC = AB+\overline{A}C$

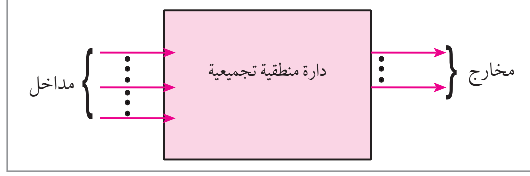
٥- أوجد الاقتران F من الجدول التالي :

هل الحلقة العمودية ضرورية؟

A \ BC	00 ($\overline{C}$)	01	11	10 ($\overline{C}$)
$\overline{A}$ 0	1	1		
A 1		1	1	

■ الدارات المنطقية التجميعية

الدارة المنطقية التجميعية Combinational Logic Circuit ، كما في الشكل (١) عبارة عن دارة مبنية باستخدام البوابات المنطقية ، قيم مخارجها في أي لحظة تحسب من خلال مجموعة قيم المداخل في تلك اللحظة .



الشكل (١) : دارة منطقية تجميعية

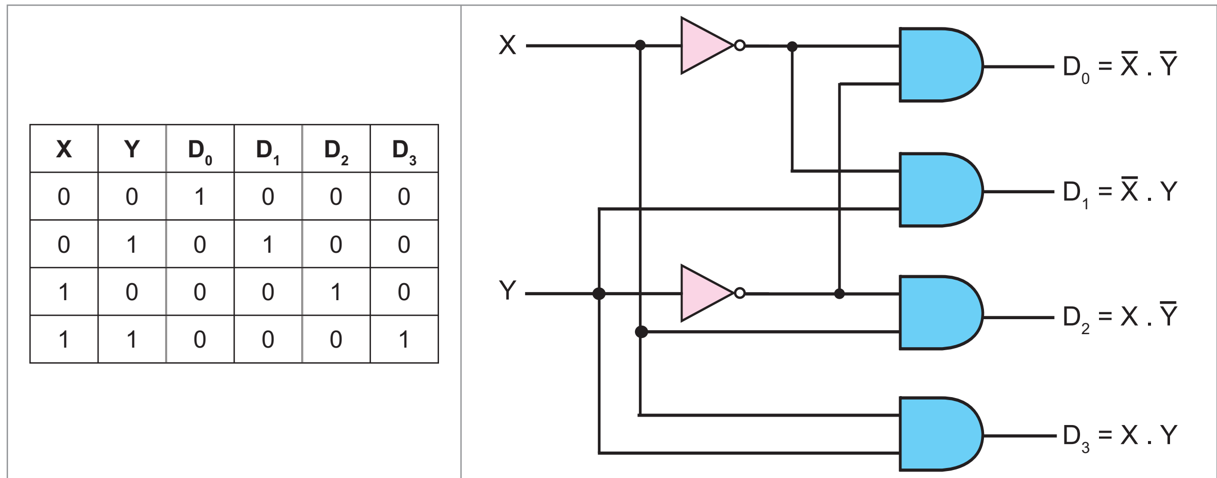
يمكن وصف عمل هذا النوع من الدارات باستخدام دالة أو مجموعة دالات الاقتران . دارة فك الترميز ، ودارة الاختيار متعددة المداخل ودارة الاختيار متعددة المخارج تعد من الأمثلة التطبيقية للدارات المنطقية التجميعية .

١- دارة فك الترميز Decoder:

دارة فك الترميز تعد من الدارات المهمة المستخدمة للتحويل من نظام ترميز معين إلى نظام ترميز آخر ، الشكل (٢) يمثل دارة فك ترميز لها مدخلان (x ، y) وأربعة مخارج (D0 ، D1 ، D2 ، D3) . الحد الأقصى لعدد المخارج في دارة الترميز يعتمد على عدد المداخل من خلال العلاقة التالية :

$$\text{عدد المخارج} = 2^{\text{ن}} \text{ ، حيث ن = عدد المداخل}$$

لاحظ من خلال جدول الصواب ، أنه اعتماداً على حالة المداخل سوف يتم اختيار مخرج واحد ليتم تفعيله (يأخذ القيمة واحد) . هذا ويمكن بناء دارة فك الترميز باستخدام بوابات NAND أو NOR بدلا من بوابة AND ، وفي هذه الحالة يأخذ المخرج المفعل القيمة صفراً في حين تأخذ المخارج الأخرى القيمة واحداً . (Active Low)

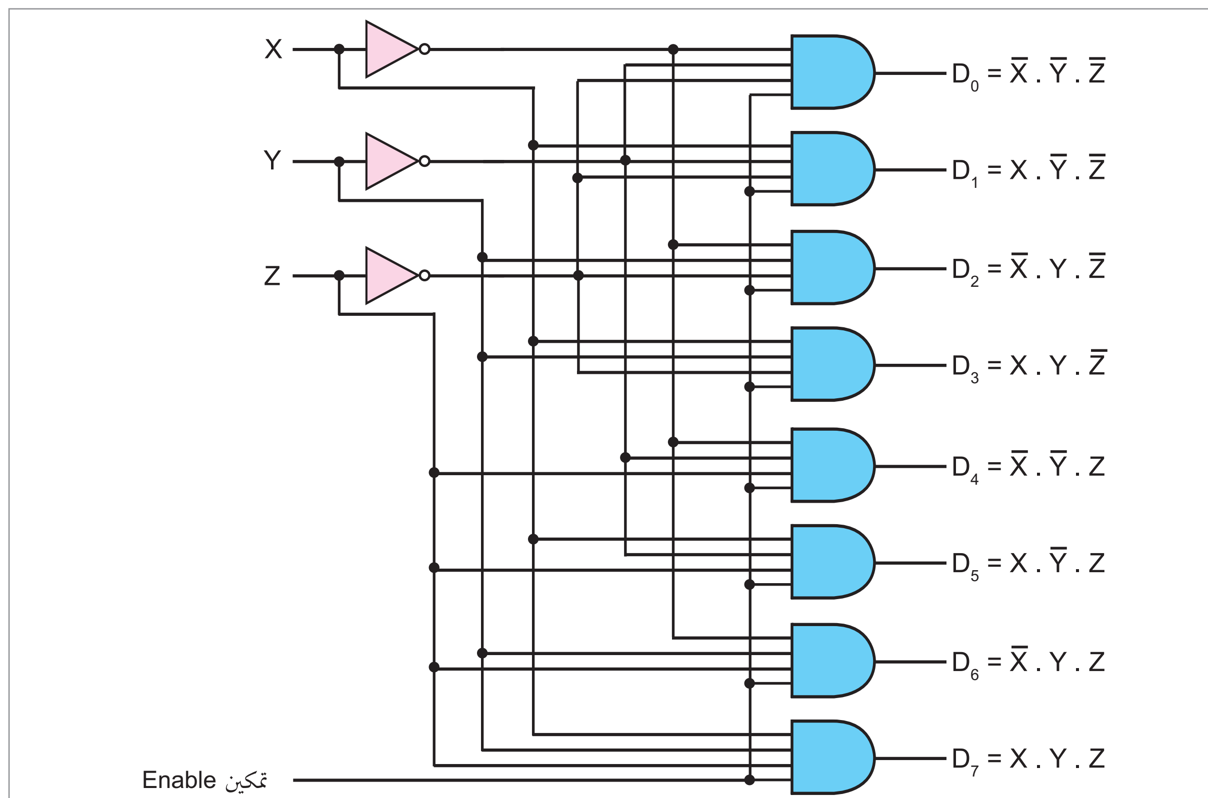


X	Y	D_0	D_1	D_2	D_3
0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

جدول الصواب

الشكل (٢) : دارة فك الترميز

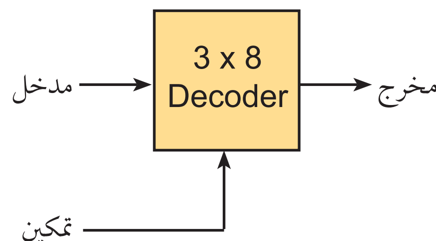
الشكل (٣) يمثل المخطط التمثيلي لدارة فك ترميز تستقبل العدد الثنائي من خلال المداخل x y z ليتم تفعيل مخرج واحد من مخارجها الثمانية D0 --- D7 ليمثل الرقم بالنظام الثماني . لاحظ وجود مدخل enable الذي يستخدم لتمكين مخارج الدارة من العمل . تعطى هذه الدارة الاسم . 3 – to - 8 line Decoder



الشكل (٣) : المخطط التمثيلي لدارة فك الترميز

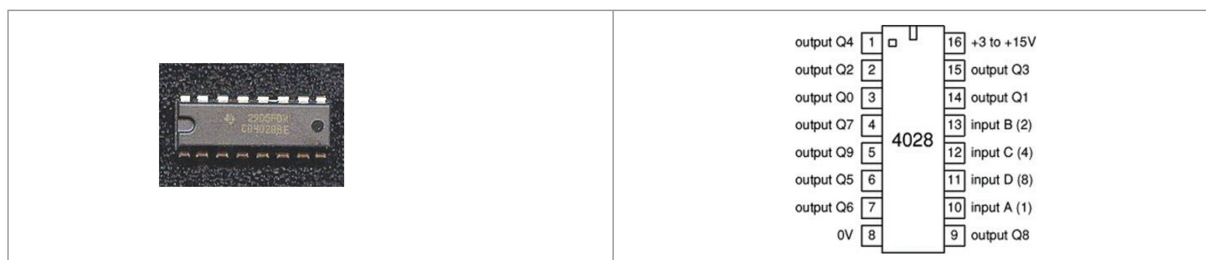
المداخل			المخارج							
x	y	z	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

جدول الصواب



الشكل (٤) : رمز دارة فك الترميز

الشكل (٥) يمثل الرقاقة 4028 ، التي تحوي في داخلها دارة فك ترميز ، تستقبل العدد الثنائي المرمز عشرياً من خلال المداخل A B C D ليتم تفعيل مخرج واحد من مخارجها العشر Q0 --- Q9. ليمثل الرقم العشري المختار .



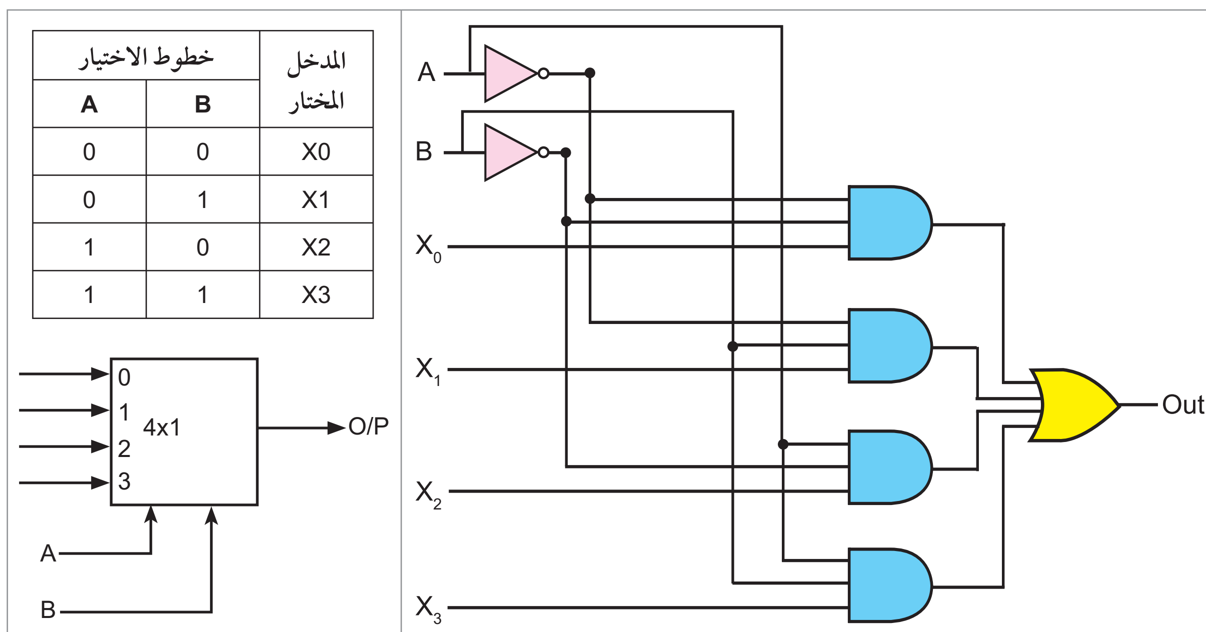
الشكل (٥) : رقاقة فك الترميز 4028

٢- دارة الاختيار متعددة المداخل: Multiplexer

هي دارة لها عدة مداخل ومخرج واحد ، يتم اختيار أحد المداخل لربطه بالمخرج من خلال خطوط خاصة باختيار المدخل control lines . العلاقة بين عدد خطوط الاختيار وعدد المداخل تعطى من خلال العلاقة التالية :

عدد المداخل = $2^{ن}$ ، حيث ن = عدد خطوط الاختيار

الشكل (٦) يمثل دارة اختيار متعددة المداخل لها أربعة مداخل x1 ، x2 ، x3 ، x4 ومخرج واحد X يتم التحكم بعملها من خلال خطي اختيار B ، A . تعطى هذه الدارة الاسم : 4-Input Multiplexer.



خطوط الاختيار A	خطوط الاختيار B	المدخل المختار
0	0	X0
0	1	X1
1	0	X2
1	1	X3

جدول الصواب

الشكل (٦) : دارة اختيار متعددة المداخل

وتمثل الرقاقة 74358 دارة اختيار ذي ثمانية مداخل .

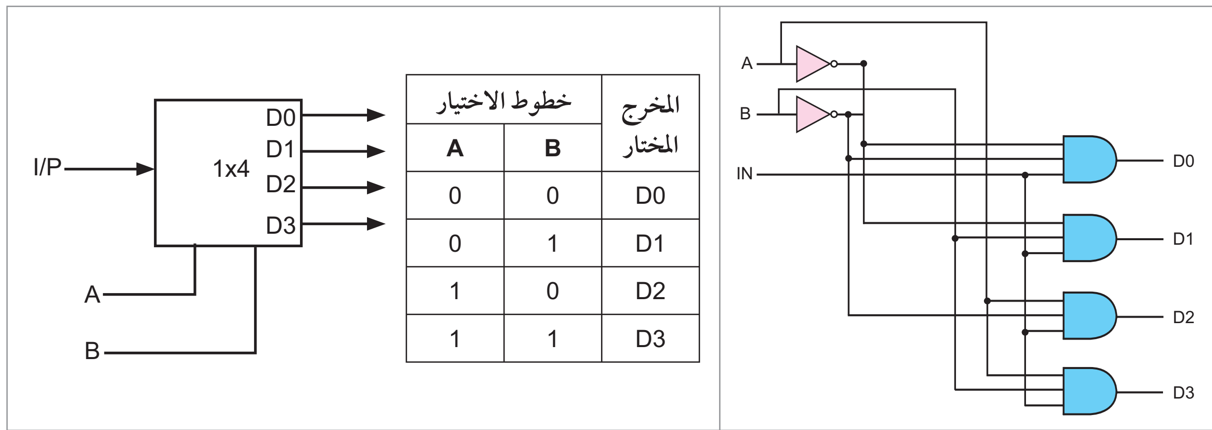
٣ - دارة الاختيار متعددة المخارج: Demultiplexer

هي دارة لها عدة مخارج ومدخل واحد، يتم اختيار أحد المخارج لربطه بالمدخل من خلال خطوط خاصة باختيار المخرج control lines . العلاقة بين عدد خطوط الاختيار وعدد المخارج تعطى من خلال العلاقة التالية :

عدد المخارج = $2^{ن}$ ، حيث ن = عدد خطوط الاختيار

الشكل (٧) يمثل دارة اختيار متعددة المخارج لها أربعة مخارج OUT0,OUT1,OUT2,OUT3 ومدخل واحد IN يتم التحكم بعملها من خلال خطي اختيار A,B تعطى هذه الدارة الاسم : . 4-Output Multiplexer

الجدير بالذكر أنه إذا قمنا بتغذية المدخل IN في دارة الاختيار متعددة المخارج بإشارة ثابتة تمثل المنطق(1)، فإن الدارة سوف تتصرف كدارة فك ترميز .



خطوط الاختيار		المخرج المختار
A	B	
0	0	D0
0	1	D1
1	0	D2
1	1	D3

الشكل (٧) : دارة اختيار متعددة المخارج

جدول الصواب

وتمثل الرقاقة 74237 دارة اختيار ذي ثمانية مخارج .

أسئلة:

١ . ارسم دارة فك ترميز ذات ثلاثة مداخل وثمانية مخارج، باستخدام البوابات المنطقية .

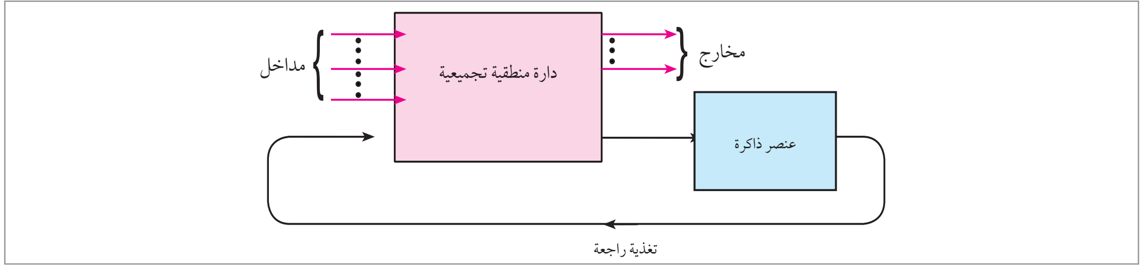
٢ . ارسم رمز دارة فك ترميز ذات ثلاثة مداخل وثمانية مخارج .

٣ . ارسم دارة اختيار ذات مدخلين ومخرج واحد .

٤ . ارسم دارة اختيار ذات مدخل واحد ومخرجين .

الدارات المنطقية التتابعية

الدارة المنطقية التتابعية Sequential Logic Circuit ، عبارة عن دارة مبنية باستخدام البوابات المنطقية (دارة منطقية تجميعية) بالإضافة إلى عنصر أو عناصر ذاكرة ، قيم مخارجها في أي لحظة تحسب من خلال مجموعة قيم المداخل في تلك اللحظة ومن خلال القيم السابقة لهذه المداخل . لا يمكن وصف عمل هذا النوع من الدارات باستخدام دالة أو مجموعة دالات الاقتران ، ولكن من خلال جدول يتتبع زمنيا التغيرات على المخارج اعتمادا على كل من قيم المداخل الحالية والحالة السابقة لهذه المداخل كما في الشكل (١) .



الشكل (١) : دارة منطقية تتابعية

١- النطاطات Flip Flops:

عندما نتحدث عن وجود عنصر ذاكرة في الدارة المنطقية التتابعية ، فإننا نتحدث عن النطاط الذي يمثل هذا العنصر . يمكن تعريف النطاط بأنه عنصر ذاكرة قادر على تخزين رقم ثنائي واحد (أي يتذكر الحالة السابقة لمداخله) . يتم بناء النطاطات باستخدام البوابات المنطقية مع وجود تغذية راجعة . فيما يلي ، سوف ندرس عدة أشكال من النطاطات بهدف التعرف على رموزها ، ومبدأ عملها واستخداماتها .

الأشكال المختلفة للنطاطات :

يوجد أربعة أشكال مختلفة للنطاطات هي :

١ – نطاط RS

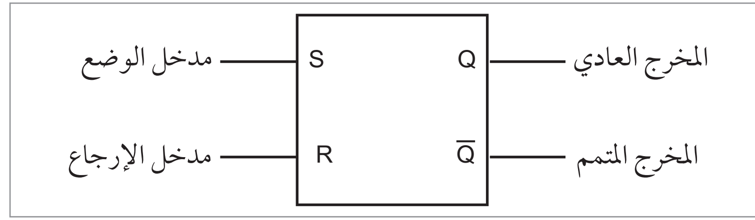
٢ – نطاط JK

٣ – نطاط D

٤ – نطاط T

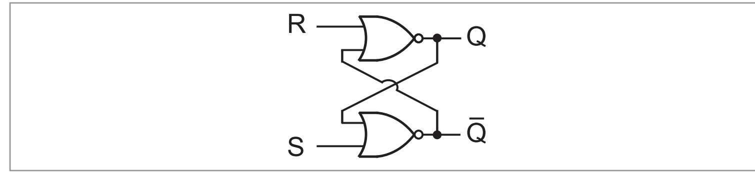
١- نطاط RS:

أُخذ اسم هذا النطاط من الأحرف الأولى لكلمتي Set و Reset وتعنيان بالترتيب «الوضع» –أي جعل قيمة المخرج Q مساوية للواحد– و«الإرجاع» –أي جعل قيمة المخرج Q مساوية للصفر– ، ويرمز لهذا النطاط بالرمز التالي :



الشكل (٢) : الرمز العام لنطاط RS

يمكن بناء النطاط RS باستخدام بوابتي لا/ أو NOR بوجود تغذية راجعة، كما في الشكل (٣) .



الشكل (٣) : نطاط RS باستخدام بوابتي لا/ أو NOR

يمكن تحليل عمل النطاط RS من خلال جدول الصواب التالي إلى أربع حالات :

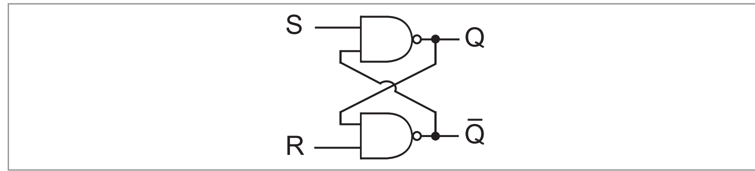
S	R	Qn	Q_{n+1}	ملاحظات
0	0	1	1	حالة التذكر
0	0	0	0	
0	1	1	0	حالة الإرجاع
0	1	0	0	
1	0	1	1	حالة الوضع
1	0	0	1	
1	1	1	غير معرفة	حالة المنع
1	1	0	غير معرفة	

- الرمز Qn يعني الحالة السابقة للمخرج Q
- الرمز Q_{n+1} يعني الحالة الجديدة للمخرج Q

يمكن اختصار جدول الصواب أعلاه إلى الجدول التالي :

S	R	Q_{n+1}
0	0	Qn
0	1	0
1	0	1
1	1	غير معرفة

كما يمكن بناء النطاط RS باستخدام بوابتي لا/ و NAND بوجود تغذية راجعة، كما في الشكل (٤).



الشكل (٤): نطاط RS باستخدام بوابتي لا/ و NAND

جدول الصواب التالي يوضح عمل النطاط RS باستخدام بوابتي لا/ و NAND

S	R	Q_{n+1}
0	0	غير معرفة
0	1	1
1	0	0
1	1	Q_n

٢-نطاط JK:

للتخلص من مشكلة الحالة غير المعرفة في نطاط RS تم إضافة مجموعة من البوابات المنطقية على نطاط S-R المبني باستخدام بوابات لا/ أو NOR كما بالشكل (٥ أ) لنحصل على نطاط جديد سمي نطاط JK. الشكل (٥ب) يوضح رمز هذا النطاط.



الشكل (٥/ أ): بناء نطاط JK باستخدام نطاط RS

الشكل (٥/ ب): الرمز العام لنطاط JK

جدول الصواب التالي يوضح عمل النطاط JK:

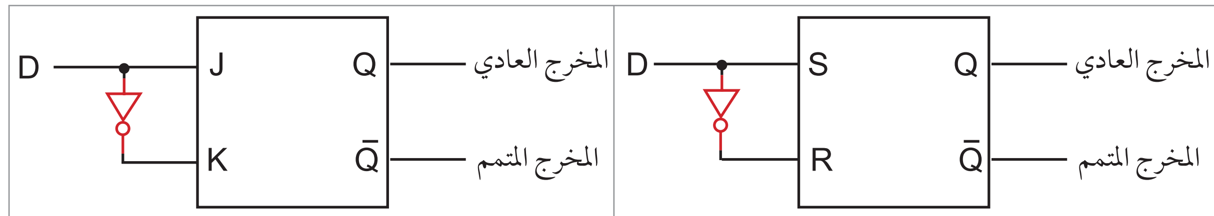
J	K	Q_{n+1}
0	0	Qn
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q}_N$

لاحظ أن مشكلة الحالة غير المعرفة تم حلها.

وتمثل الرقاقة 74104 النطاط JK من نوع Master-Slave.

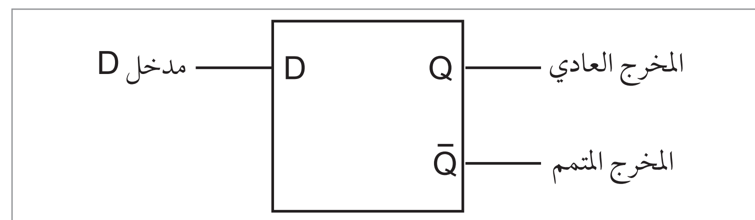
٣- نطاط D:

في حالة وضع بوابة «لا» Not بين مدخلي نطاط RS أو نطاط JK كما في الشكل(٦)، نحصل على نطاط له القدرة على تخزين رقم ثنائي أي بيانات؛ ولذا أطلق عليه اسم D الحرف الأول لكلمة Data وتعني البيانات. الشكل (٧) يمثل الرمز العام لنطاط D.



الشكل (٦/أ): بناء نطاط D باستخدام نطاط RS

الشكل (٦/ب): بناء نطاط D باستخدام نطاط JK



الشكل (٧): الرمز العام لنطاط D

يمكن استنتاج جدول الصواب للنطاط D من جدول الصواب للنطاط RS أو JK كما يلي:

S	R	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	غير معرفة

جدول الصواب للنطاط RS

J	K	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q_n}$

جدول الصواب للنطاط JK

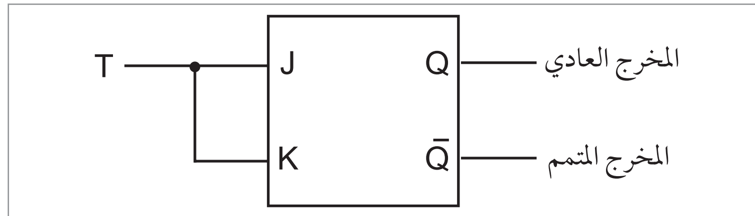
D	Q_{n+1}
0	0
1	1

جدول الصواب للنطاط D

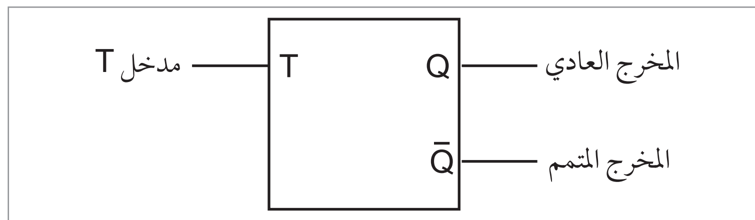
وتمثل الرقاقة 7479 نطاطين من نوع D.

٤- نطاط T:

في حالة توصيل كلا مدخلي النطاط JK معا ، فإننا نحصل على مدخل واحد كما في الشكل (٨) . أطلق الاسم T على هذا المدخل حيث إن الحرف T يمثل الحرف الاول لكلمة Toggle وتعني القلاب . لأن قيمة Q تتقلب ما بين (0) و(1) مع التقلب في قيمة المدخل T كما هو موضح في جدول الصواب للنطاط T المشتق من جدول الصواب للنطاط JK . الشكل (٩) يمثل الرمز العام لنطاط T .



الشكل (٨) : بناء نطاط T باستخدام نطاط JK



الشكل (٩) : الرمز العام لنطاط T

J	K	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0

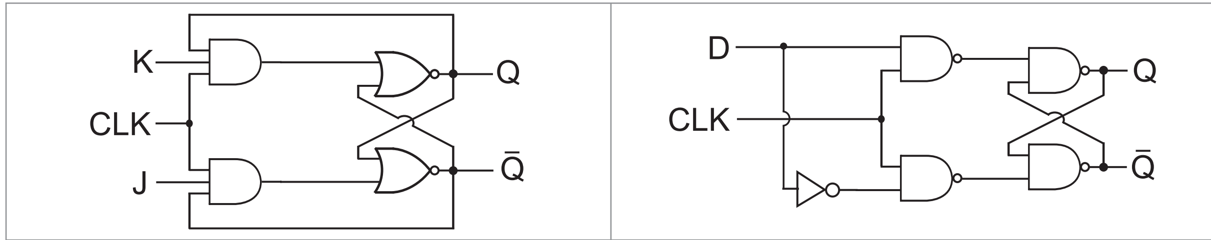
جدول الصواب للنطاط JK

T	Q_{n+1}	
0	Q_n	تخزين
1	$\overline{Q_n}$	عكس الحالة السابقة

جدول الصواب للنطاط T

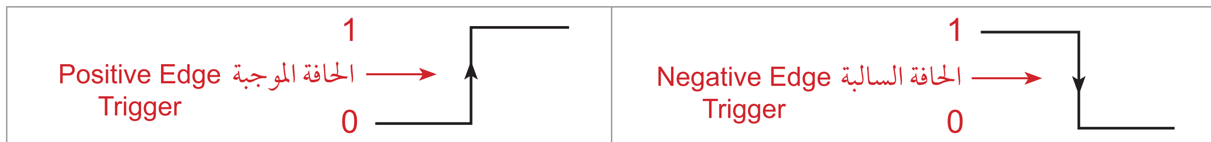
٢- استخدام نبضة الساعه مع النطاطات Clocked Flip-Flops:

أحيانا نحتاج إلى وجود تزامن في عمل النطاط مع الأجزاء الأخرى من الدائرة الإلكترونية . أي أننا لا نرغب في حدوث تغيير على مخارج النطاط بعد حدوث تغيير على مدخله/ مداخله مباشرة ولكن فقط في اللحظة التي نرغب في حدوث ذلك فيها . لتحقيق ذلك يتم إضافة مدخل آخر للنطاط ، يطلق عليه اسم مدخل «نبضة الساعة» ويرمز له بالرمز CP أو CLK كما هو موضح بالشكل (١٠) .



الشكل (١٠): استخدام نبضة الساعة مع النطاطات

من خلال هذا المدخل يتم إعطاء نبضة لتنقل التغيير الذي حدث على مدخل/ مداخل النطاط على مخارجه. نبضة الساعة تفعل التغيير للنطاط، عندما يحدث تغير في قيمة إشارتها (النبضة الداخلة) من قيمة عظمى إلى قيمة دنيا أو العكس كما في الشكل(١١).



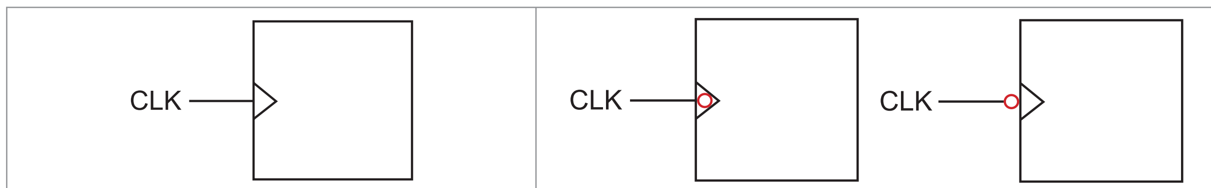
الشكل (١١/أ): قدح الحافة السالبة

الشكل (١١/ب): قدح الحافة الموجبة

١- تقدح الحافة السالبة: في هذا النوع من القدح يستجيب النطاط عند حدوث تغيير من القيمة العظمى إلى القيمة الدنيا لنبضة الساعة، مؤدياً لحدوث تغيير على مخارجه.

٢- تقدح الحافة الموجبة: في هذا النوع من القدح يستجيب النطاط عند حدوث تغيير من القيمة الدنيا إلى القيمة العظمى لنبضة الساعة، مؤدياً لحدوث تغيير على مخارجه.

الشكل(١٢) يمثل الرموز التي تستخدم مع مدخل النبضة في النطاطات للتمييز بين قدح الحافة السالبة وقدح الحافة الموجبة:

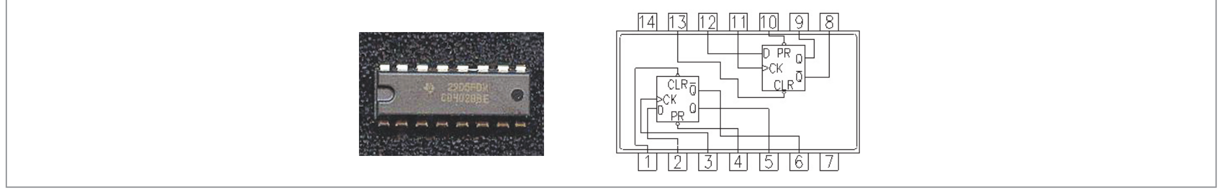


الشكل (١٢/أ): رمز مدخل قدح الحافة السالبة للنطاط

الشكل (١٢/ب): رمز مدخل قدح الحافة الموجبة للنطاط

٣- النطاطات مع مدخلي الأعداد PRESET والتصفير CLEAR:

النطاط الحقيقي المستخدم في بناء الدوائر المنطقية يحتوي على مدخلين إضافيين، هما مدخل الأعداد، ومدخل التصفير، يستخدم مدخل الأعداد لجعل قيمة المخرج Q للنطاط مساوية للواحد، بينما يستخدم مدخل التصفير لجعل قيمة المخرج Q للنطاط مساوية للصفر. الشكل (١٣-أ) يوضح رمزاً للنطاط D مع هذه المداخل.



الشكل (١٣-أ) : الرقاقة 7474 التي تحوي نطاطين مثل D مع مدخلي إعداد وتصفير

نلاحظ أن كلا المدخلين احتوى على رمز الدائرة، التي تعني :

١ المدخل يعمل عندما تكون قيمته مساوية صفرا .

أي CLK = 0 تجعل Q = 0 و PR = 0 تجعل Q = 1.

٢ عند جعل قيمة المدخل مساوية للواحد، أو ترك المدخل دون ربط في الدائرة ، فإنه لا يحدث أي تغيير على قيمة Q بسبب هذا المدخل .

٤- تطبيقات النطاطات:

تستخدم النطاطات في العديد من التطبيقات كلبنة بناء كما هو الحال في العدادات والمسجلات باعتبارها عنصر الذاكرة للدارة المنطقية التتابعية .

مسجلات الإزاحة:

يعد المسجل من التطبيقات المهمة لاستخدام النطاطات، حيث يبنى باستخدام مجموعة من نطاطات D أو نطاطات JK (في الحالة المكافئة لعمل نطاط D) بهدف حفظ البيانات الرقمية .

١- تصنيف المسجلات:

تتميز جميع المسجلات بأنها تحتاج إلى نبضة ساعة تعمل على تسجيل القيمة الموجودة على مدخل النطاط D إلى مخرجه Q . يمكن تصور هذه العملية بأنها بمثابة انزياح للرقم الثنائي من المدخل إلى المخرج . وبناء على ذلك أطلقت تسمية مسجلات الإزاحة على هذه المسجلات .

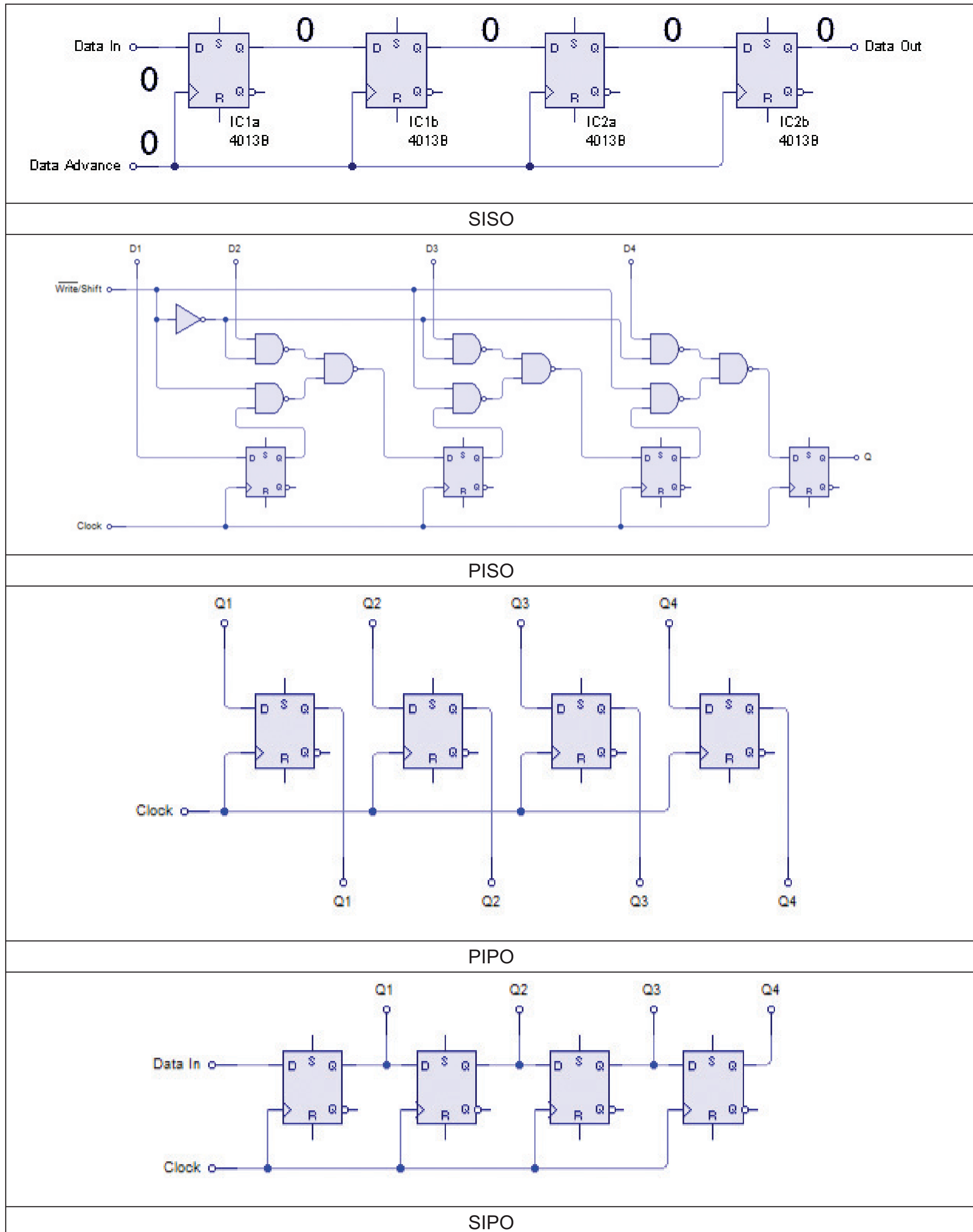
اعتماداً على طريقة دخول البيانات إلى مسجل الإزاحة وطريقة خروجها تم تصنيف المسجلات إلى أربعة أنواع هي، انظر الشكل التالي :

١ مسجل إدخال متوالٍ / إخراج متوالٍ SISO .

٢ مسجل إدخال متوالٍ/ إخراج متوازٍ SIPO .

٣ مسجل إدخال متوازٍ/ إخراج متوالٍ PISO .

٤ مسجل إدخال متوازٍ/ إخراج متوازٍ PIPO .



٢- **مسجل الإزاحة ذو الإدخال المتوالي/ الإخراج المتوازي SIPO:**

لنتعرف على مبدأ عمل المسجلات بشكل عام، سوف نتناول في دراستنا هذه مثالاً لمسجل إزاحة ذي إدخال متوالٍ وإخراج متوازٍ يتكون من أربع خانات.

١- لنبدأ بتصفير محتويات المسجل لتصبح «0000»، كما في الشكل ومن خلال إعطاء جهد 5V على مدخل التصفير CL لجميع النطاطات نحصل على قيم لتصبح صفرا.

٢- على افتراض أننا نرغب في تسجيل البيانات «0111» داخل المسجل، سوف نبدأ بإدخال الرقم الثنائي الأول «البت الأولى» (من اليمين) عبر المدخل ثم تطبيق نبضة ساعة.

٣- نضع البت الثانية وهي 1 على المدخل ونطبق نبضة الساعة الثانية.

٤- نضع البت الثالثة وهي 1 على المدخل ونطبق نبضة الساعة الثالثة.

٥- وأخيراً، لإدخال البت الرابعة والأخيرة، نضعها على المدخل، ونطبق نبضة الساعة الرابعة.

نلاحظ بعد تطبيق أربع نبضات أننا تمكنا من إدخال العدد «0111» إلى المسجل. الآن نستطيع قراءة محتوى المسجل بشكل إخراج متوازٍ.

هذا النوع من المسجلات يستخدم عادة لإحداث توافق في شكل البيانات بين وحدتين أو جهازين، كما هو الحال مثلاً في لوحة المفاتيح، التي ترسل بياناتها إلى جهاز الكمبيوتر بشكل متوالٍ، ثم يتم استقبالها من خلال مسجل إزاحة إدخال متوالٍ موجود على اللوحة الأم يعمل على إخراجها إلى المعالج على شكل بيانات متوازية.

يمكن تمثيل عمل المسجل أعلاه من خلال جدول كما يلي:

رقم النبضة	QD	QC	QB	QA	العدد المراد إدخاله
في البداية	0	0	0	0	011 (1)
بعد النبضة الأولى	0	0	0	1	01 (1)
بعد النبضة الثانية	0	0	1	1	0 (1)
بعد النبضة الثالثة	0	1	1	1	(0)
بعد النبضة الرابعة	1	1	1	0	

٣- استخدامات المسجلات:

تعد المسجلات جزءاً أساسياً في تركيب المعالجات المايكروية، والعديد من الرقاقات المستخدمة في الأجهزة الإلكترونية. كما يمكن أن تتواجد المسجلات بشكل منفرد؛ لتستخدم في العديد من التطبيقات الإلكترونية المختلفة. الرقاقة 7495 تمثل مسجل إزاحة من أربع منازل مثل إدخال متوازٍ/ إخراج متوازٍ PIPO والرقاقة 4014 تمثل مسجل إزاحة من ثماني منازل مثل إدخال متوازٍ/ إخراج متوالٍ PISO.

العدادات:

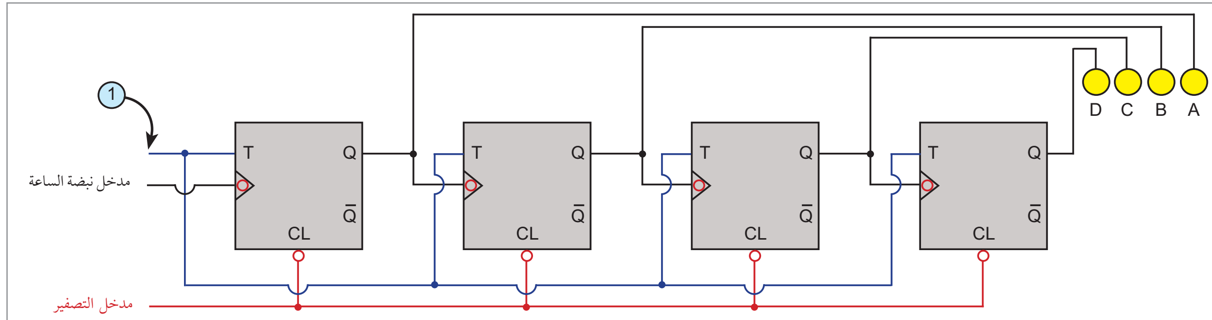
يعدّ العداد من التطبيقات المهمة للنطاطات . حيث يبنى العداد باستخدام نطاطات T أو نطاطات JK في الحالة المكافئة لعمل نطاط T بهدف العد من قيمة معينة تصاعدياً أو تنازلياً إلى قيمة أخرى .

١- تصنيف العدادات:

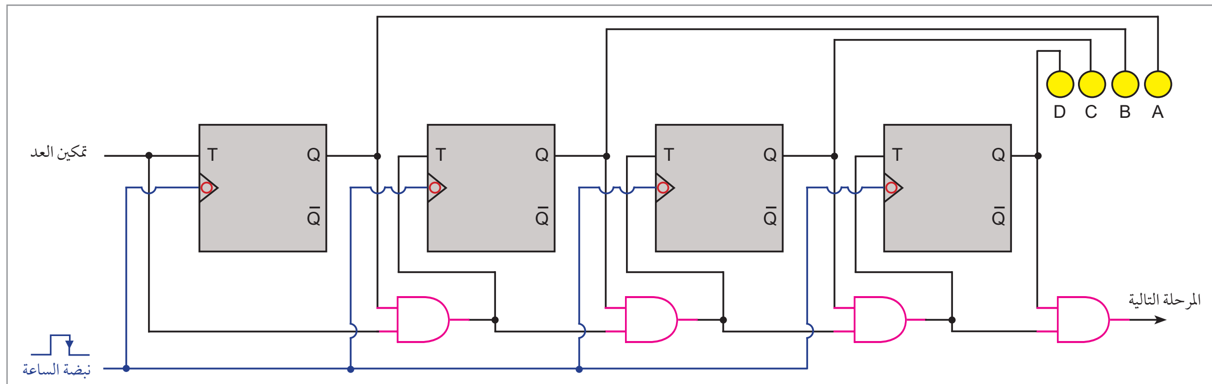
اعتماداً على وجود تزامن أو عدم تزامن في وصول نبضة الساعة إلى البوابات المكونة للعداد تم تصنيف العدادات إلى :

١ – العدادات غير المتزامنة Asynchronous Counters : في هذا النوع من العدادات التغير في مخرج النطاط يستخدم كمصدر بنبضة للنطاط التالي، ما عدا النطاط الأول فيحصل على نبضة ساعة خارجية . من مساوىء هذا العداد أنه يؤدي إلى حدوث تأخير delay في عملية العد خاصة عندما يكون عدد النطاطات المستخدمة كبيراً .

٢ – العدادات المتزامنة Synchronous Counters : في هذا النوع تصل نبضة الساعة إلى جميع النطاطات المكونة للعداد في اللحظة نفسها . التغير في حالة النطاط تعتمد على الحالة الحالية لجميع النطاطات الأخرى . وعليه فإن مشكلة التأخير التي تحدث في العدادات غير المتزامنة غير موجودة هنا .



الشكل (١٤/ أ) : عداد ثنائي غير متزامن مكون من أربع خانات



الشكل (١٤/ ب) : عداد ثنائي متزامن مكون من أربع خانات

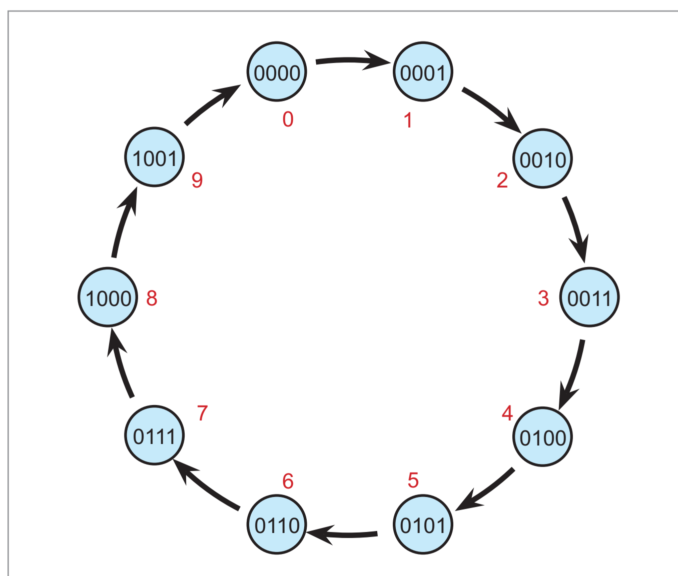
الشكل(١٤) يوضح طريقة بناء عدادين ثنائيين يقومان بالعد من «0000» إلى «1111» أحدهما عداد متزامن والآخر عداد غير متزامن.

اعتمادا على مبدأ عمل العداد والهدف المطلوب تحقيقه يمكن بناء الأشكال التالية من العدادات:

١- العداد الثنائي: يتكون العداد الثنائي من مجموعة من النطاطات، كل نطاط يمثل أحد خانات العدد الثنائي. بعد تصفير العداد. يبدأ العداد بالعد من القيمة الدنيا تصاعدياً بزيادة مقدارها «1» في كل مرة، يتلقى العداد فيها نبضة ساعة، حتى يصل إلى القيمة العظمى؛ ليعود تلقائيا إلى القيمة الدنيا، مكملا نمطه في العد. الشكل (١٤) يمثل عدادين ثنائيين مكونين من أربع خانات.

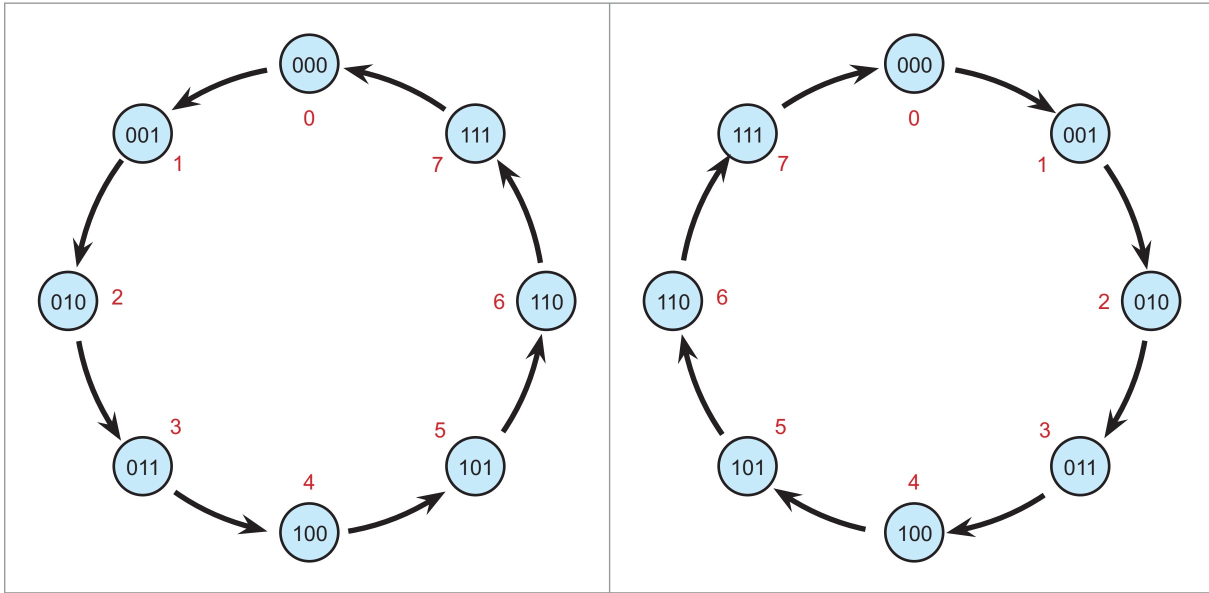
يمكن استخدام العداد الثنائي كعداد تنازلي في حالة استخدام $\bar{Q}$ بدلا من Q لتمثل قيم خانات العدد. أو يمكن استخدام $\bar{Q}$ لإعطاء النبضة للنطاط التالي بدلا من Q للحصول على النتيجة نفسها.

٢- العداد المرمز عشريا BCD Counter: يعمل هذا العداد تماماً مثل العداد الثنائي التصاعدي، ولكن عند الوصول إلى القيمة «1001» التي تكافئ الرقم «٩» في النظام العشري يعود إلى أدنى قيمة «0000» وهكذا فإن الأعداد التي يعدها هذا العداد تمثل الأرقام في النظام العشري من «0» إلى «9»، الشكل (١٥) يوضح مخطط الحالة لهذا العداد.



الشكل (١٥): مخطط الحالة للعداد المركز عشرياً

٣- العداد التصاعدي/ التنازلي: هو عداد يمكن التحكم فيه بطريقة العد، لتكون تصاعدية أو تنازلية باستخدام المخارج نفسها مع إضافة بعض البوابات، الشكل (١٦) يوضح مخططات الحالة لهذا النوع من العدادات.



الشكل (١٦/ ب): مخطط الحالة للعداد التنازلي المكون من ثلاث خانات

الشكل (١٦/ أ): مخطط الحالة للعداد التصاعدي المكون من ثلاث خانات

٢- مبدأ عمل العداد الثنائي:

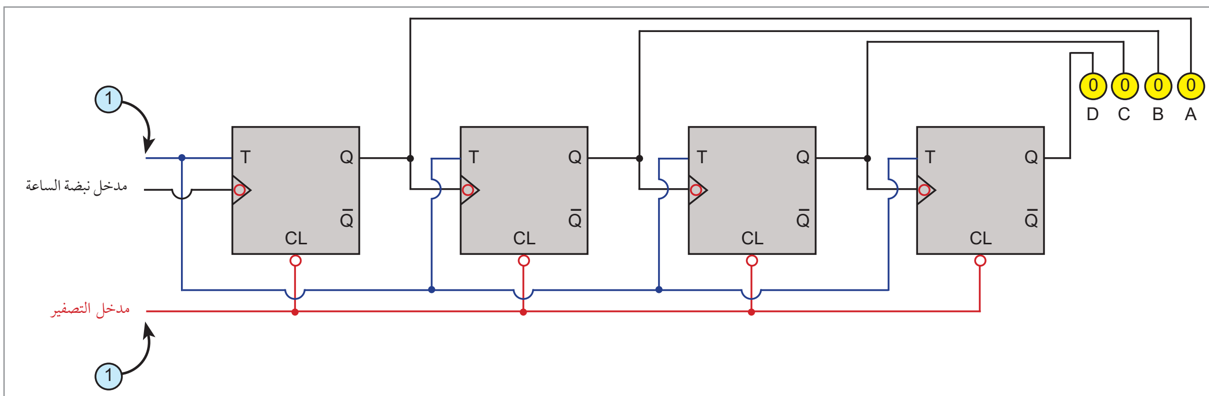
عندما نرغب في بناء عداد ما، علينا أن نحدد الأمور التالية:

١- عدد الخانات التي تمثل عدد النطاطات اللازمة.

٢- العدد الأول والعدد النهائي للعد.

الشكل (١٧) يمثل عدادين ثنائيين مكونين من أربع خانات، الأول غير متزامن والثاني متزامن. لفهم مبدأ عمل العداد سوف نتناول العداد غير المتزامن المكون من أربعة نطاطات، ولنحدد العدد الأول لبدء العد «0000» والعدد النهائي «1111».

١- عند تصفير العداد نحصل على قيمة 0000 .



الشكل (١٧): تصفير العداد

٢- عندما يتلقى مدخل النبضة A نبضة ساعة ذات الحافة السالبة (التغير من «1» إلى «0») يؤدي إلى تغيير قيمة QA من 0 إلى 1 .

٣- عندما تأتي النبضة الثانية على مدخل نبضة ساعة للنطاط A سوف يؤدي ذلك إلى تغيير QA من 1 إلى0 . هذا التغير ينعكس على مدخل الساعه للنطاط B وهو بمثابة تلقي نبضة ساعة ذات حافة سالبة مؤدياً إلى تغير قيمة QB من 0 إلى 1 .

٤- عندما تأتي نبضة الساعة الثالثة على مدخل الساعة للنطاط A سوف يؤدي ذلك إلى تغير قيمة QA من 0إلى 1 فقط .

٥- عند وصول نبضة الساعة الرابعة سوف يؤدي ذلك إلى تغير قيمة QA من 1 إلى ٥ ، وبالتالي إلى تغير قيمة QB من 1 إلى 0 مؤدياً إلى تغيير قيمة QC من 0 إلى 1 .

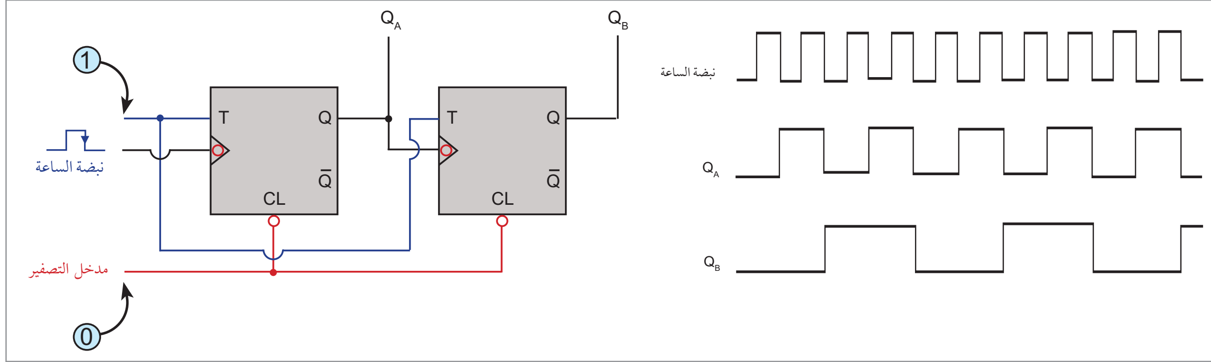
والجدول التالي يوضح ما يحدث عند ورود النبضات الأخرى :

	Q_A	Q_B	Q_C	Q_D
في البداية	0	0	0	0
بعد وصول النبضة ١	1	0	0	0
بعد وصول النبضة ٢	0	1	0	0
بعد وصول النبضة ٣	1	1	0	0
بعد وصول النبضة ٤	0	0	1	0
بعد وصول النبضة ٥	1	0	1	0
بعد وصول النبضة ٦	0	1	1	0
بعد وصول النبضة ٧	1	1	1	0
بعد وصول النبضة ٨	0	0	0	1
بعد وصول النبضة ٩	1	0	0	1
بعد وصول النبضة ١٠	0	1	0	1
بعد وصول النبضة ١١	1	1	0	1
بعد وصول النبضة ١٢	0	0	1	1
بعد وصول النبضة ١٣	1	0	1	1
بعد وصول النبضة ١٤	0	1	1	1
بعد وصول النبضة ١٥	1	1	1	1

وتستمر هذه العملية حتى نصل إلى إعادة تصفير العداد كما يظهر في الشكل (١٧) السابق .

٣- **استخدامات العدادات:**

يوجد تطبيقات كثيرة ومتنوعة للعدادات، مثل تتبع الأحداث وعدها، وتوليد الذبذبات، وقسمة التردد.



الشكل (١٨): قسمة التردد

وتصنع العدادات على شكل رقاقة مثل : 7449 ، 7448 ، 7447 ، 7446 ، 7445 .

الأسئلة:

س١ : ارسم رموز كل من النطاطات التالية :

أ- نطاط RS ب- نطاط JK جـ- نطاط D. د- نطاط T

س٢ : كيف يتم تصنيف المسجلات ؟

س٣ : ارسم مسجل إزاحة ذا إدخال متوالٍ وإخراج متوازٍ ، مكون من ثلاث خانات .

س٤ : ما هو الفرق بين العدادات المتزامنة والعدادات غير المتزامنة ؟

س٥ : ارسم مخطط الحالة لعداد تصاعدي مكون من أربع خانات .

س٦ : ارسم عداداً ثنائياً تصاعدياً يتكون من ثلاث خانات .

س٧ : املأ الفراغات التالية بما يناسبها :

أ – يمكن تعريف العداد الثنائي بأنه عداد يتكون من مجموعة من . . . .
. . . .

ب- . . . . يعمل على العد تصاعديا من قيمة 0000
إلى القيمة 1001 بالنظام الثنائي .

جـ- عند تصميم عداد ثنائي علينا أن نحدد الأمور التالية : . . . .
. . . . . ، . . . . ، . . . .

. . . .

د- يستخدم مدخل . . . . لجعل قيمة مخارج المسجل مساوية للواحد بينما يستخدم مدخل . . . . لجعل قيمة مخارج المسجل مساوية للصفر .

هـ- قدح . . . . يؤدي إلى أن النطاط يستجيب عند حدوث تغيير من القيمة العظمى إلى القيمة الدنيا من نبضة الساعة ، بينما قدح . . . . يؤدي إلى أن النطاط يستجيب عند حدوث تغيير من القيمة الدنيا إلى القيمة العظمى من نبضة الساعة .

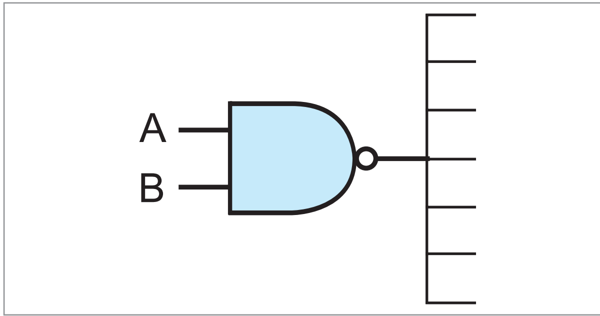


العائلات المنطقية Logic families

يمكن تقسيم الدارات الرقمية المتكاملة ليس بناء على الوظيفة فقط ، ولكن اعتماداً على تكنولوجيا التصنيع المستخدمة وذلك إلى عائلات منطقية . تختلف العائلة عن الأخرى من حيث تركيبها ، وجهود الدخل المناسبة لها والتي تمثل المستويين المنطقيين صفراً وواحداً بالإضافة إلى سرعة أدائها ، ومقدار القدرة التى يمكن أن تقدمها فى خرجها ، والقدرة التى تستهلكها لأداء عملها ، وبشكل عام يمكن المقارنة بين العائلات وتقييمها بناء على العناصر التالية :

١- قدرة المخرج Fan-out :

ويعرف بعدد الأحمال القياسية التي يمكن لمخرج بوابة تغذيتها بالتيار دون الإخلال بعمله بشكل اعتيادي . الحمل القياسي هو مقدار التيار الذي يسحبه مدخل بوابة أخرى .



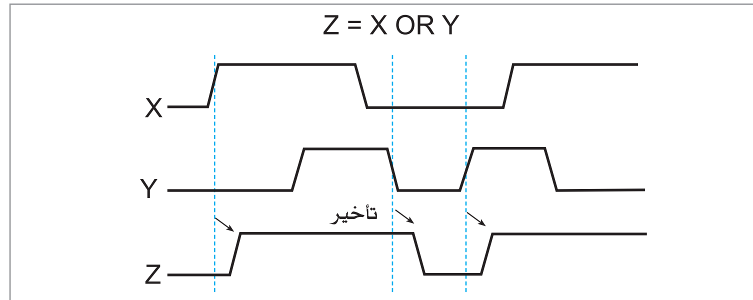
الشكل (١) : عدد مداخل البوابات التي يمكن أن توصل بمخرج البوابة

٢-تبديد القدرة:

مقدار القدرة التي تبدد داخل البوابة ، التي يجب توفيرها من قبل مصدر التغذية للدارة .

٣-زمن التأخير Propagation Delay:

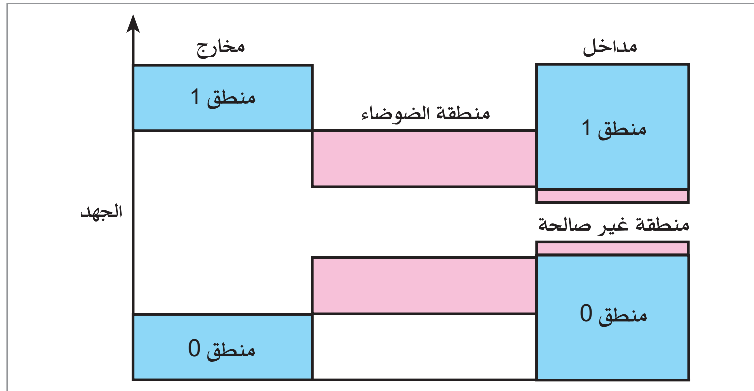
مقدار متوسط الزمن اللازم لإحداث تغيير على مخرج البوابة عند حدوث تغيير على مدخلها .



الشكل (٢) : زمن التأخير

٤- منطقة الضوضاء Noise margin:

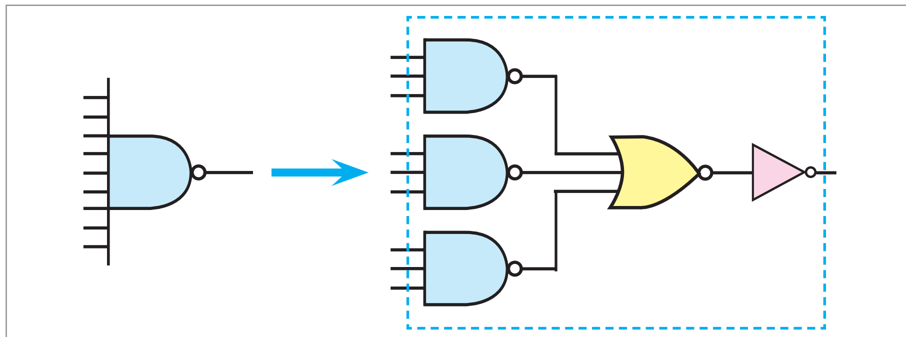
الحد الأدنى من جهد الضوضاء الذي يمكن أن يسبب تغييراً غير مرغوب فيه على المخرج .



الشكل (٣) : مناطق الضوضاء

٥- عدد المداخل Fan-in:

أقصى عدد لمداخل البوابة يمكن توفيرها .



الشكل (٤) : عدد المداخل الاقصى

تتميز العائلة الواحدة بتوافقها بعضها مع بعض . أما الرقاقات التي تنتمي إلى عائلات مختلفة فتعد بصورة عامة غير متوافقة ، ويلزم إضافة بعض الدارات لضبط توافقها بعضها مع بعض (أي فيما يخص جهود التغذية ومستويات الدخل والخرج) .

تكنولوجيا بناء العائلات المنطقية:

يوجد ست عائلات منطقية مشهورة ، أخذت أسماؤها من العناصر الإلكترونية المستخدمة في بنائها وهي :

١ عائلة منطق مقاومة–ترانزستور RTL .

٢ عائلة منطق دايود – ترانزستورDTL .

٣ عائلة منطق العتبة العليا TL - High Threshold Logic .

٤ عائلة منطق الترانزستور–ترانزستور TTL- Transistor Transistor Logic .

٥ عائلة منطق ربط الباعث ECL - Emitter Coupled Logic

٦ عائلة منطق السيموس Complementary Metal-Oxide Semiconductor CMOS Logic

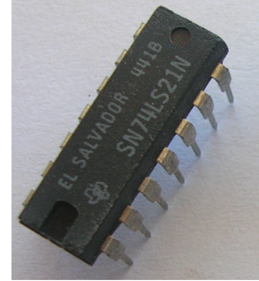
عند السؤال عن أي العائلات أفضل، فإن إجابتنا ستكون بأنه لا توجد عائلة واحدة تحتوي على كل المميزات، فكل عائلة تكون أفضل في بعض الخصائص وأسوأ في خصائص أخرى. ونلاحظ أنه لا يمكن تحسين أحد الخصائص إلا على حساب خاصية أخرى. فإذا حسّنا السرعة فسنزيد من استهلاك القدرة للدارة . لذا يلجأ المصنعون إلى الموازنة بين الخصائص المختلفة بحسب التطبيق المطروح لاستخدام تلك الدارات.

سوف نتعرض في هذا الدرس لأكثر عائلتين شيوعا واستخداما وهما :

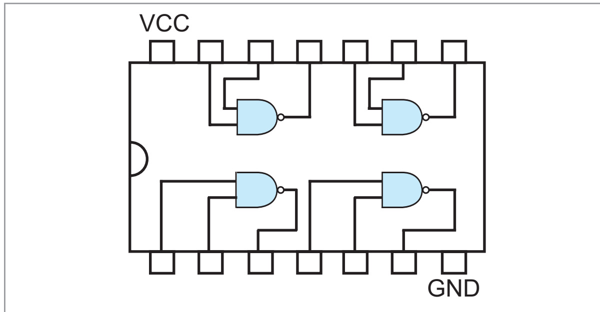
١ عائلة منطق الترانزستور – ترانزستور TTL- Transistor Transistor Logic

٢ عائلة منطق السيموس CMOS

١- عائلة منطق الترانزستور- ترانزستور TTL- Transistor Transistor Logic



الشكل (٥): رقاقة مصنوعة بتكنولوجيا TTL



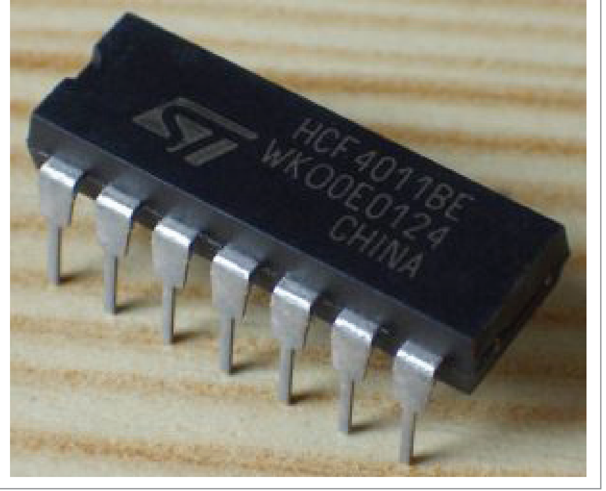
الشكل (٦): محتويات الرقاقة 7400

وهي العائلة الأكثرشيوعاً واستخداماً، الرقاقات التي تنتمي لعائلة TTL تتميز بأنها تنتمي لسلسلة 7400 أو سلسلة 5400 .

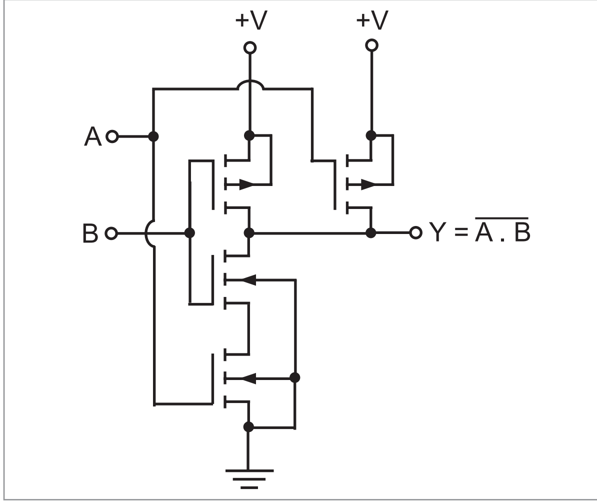
- **البادئة** 74 : تعني أن الرقاقة تستطيع أن تعمل ضمن نطاق درجات حرارة من 0 س إلى 70س.
- **البادئة** 54 : تعني أن الرقاقة تستطيع أن تعمل ضمن نطاق درجات حرارة من 55- س إلى 125س (التطبيقات العسكرية).

الأحرف (إن وجدت) تستخدم لتمييز العائلة الفرعية للرقاقة، أما الأرقام الأخرى فتستخدم لتمييز الدائرة التي تمثلها الرقاقة. فمثلا الرقاقة 74L00 تمثل رقاقة مكونة من أربع بوابات NAND تنتمي لعائلة TTL منخفضة القدرة.

٢-عائلة منطق السيموس CMOS:



الشكل (٧) : رقاقة مصنوعة بتكنولوجيا CMOS



الشكل (٨) : بوابة لا / و NAND المبنية باستخدام تكنولوجيا CMOS

عائلة الـ CMOSكما في الشكل تبنى باستخدام ترانزستورات مثل CMOS . الرقاقات التي تنتمي لعائلة CMOS يتم تمييزها بإعطائها أرقاماً في سلسلة 4000 كما أنه من الممكن أن نجد رقاقات CMOS مكافئة تماما لرقاقات عائلة TTL من حيث الوظيفة وترتيب الأطراف وتتميز بإعطائها أرقاماً في سلسلة يطلق عليها سلسلة 74C00 وسلسلة 54C00 .

عائلة الـ CMOS تختلف عن العائلات الأخرى بعدد من الخصائص أهمها :

١ استهلاكها القليل للقدرة حيث تستهلك فقط 0.01 ملي واط (فى حالة الثبات على حالة منطقية) وترتفع إلى 10 ملي واط (أثناء التغير من حالة لأخرى فى الترددات العالية من 5 ميجا هرتز إلى 10 ميجا هرتز) . لذلك فهى تستخدم بكثرة فى الأجهزة التى تعمل على بطاريات؛ لقدرتها على جعل عمر البطارية طويلا .

٢ إمكانية استخدام نطاق واسع من جهود التغذية ، حيث يمكن أن تغذى بجهود تتراوح من 3 إلى 18 فولت دون أن يؤثر ذلك على عملها . (ولكن كلما زاد جهد منبع التغذية زادت سرعة البوابة) .

٣ مقاومتها للضوضاء .

٤ من سيئات عائلة الـ CMOS أنها حساسة جداً للكهرباء الساكنة .

أسئلة:

س١ : ما هي الأسس التي يمكن الاعتماد عليها للمقارنة بين العائلات المنطقية ؟

س٢ : اذكر أسماء خمس عائلات منطقية مشهورة ذاكراً أسماء العناصر الإلكترونية التي تتميز بها كل عائلة .

س٣ : عدد أربع عائلات فرعية تنتمي لعائلة TTL .

س٤ : قارن بين سلسلة 7400 وسلسلة 5400 .

س٥ : ما هي الخصائص التي تتميز عائلة CMOS مقارنة بالعائلات الأخرى ؟

س٦ : إملأ الفراغات التالية بما يناسبها :

أ - .... هو أقصى عدد لمداخل البوابة يمكن توفيرها .

ب - نعني بمنطقة الضوضاء ....

ج - .... هو مقدار متوسط الزمن اللازم لإحداث تغيير على مخرج البوابة عند حدوث تغيير على قيم مداخلها .

د- يقصد بمفهوم تبديد القدرة للبوابة أنه ....

هـ- .... يمثل عدد الأحمال القياسية التي يمكن لمخرج بوابة تغذيتها بالتيار دون الإخلال بعمله بشكل اعتيادي .

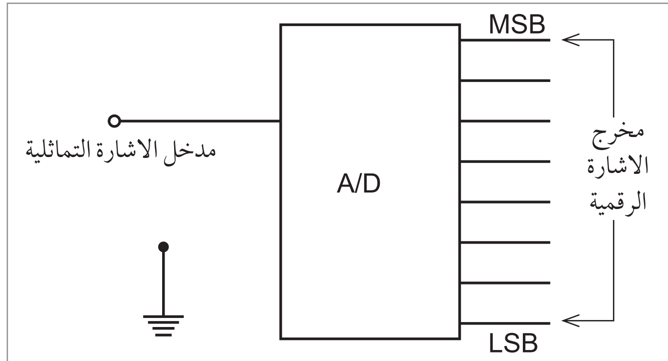
■ التحويل من إشارة تماثلية إلى إشارة رقمية وبالعكس

في كثير من التطبيقات يتم وصل مجس رقمي إلى دارة رقمية لقياس كمية معينة . فإذا كانت طبيعة هذا المجس رقمية فإنه يمكن وصله مع الدارة الرقمية التي تعالج الإشارة الناتجة منه بسهولة . فعلى سبيل المثال وصل مفتاح on-off أو مرحل أو مرمز (encoder) يكون سهلاً ؛ وذلك لأن هناك حالتين إما on أو off .

ولكن عندما يتم وصل مجس تماثلي فلا بد من وجود دارة تحويل من إشارة تماثلية إلى إشارة رقمية . وهذه الدارة تقوم بتحويل الإشارة التماثلية إلى إشارة رقمية (ثنائية) . وهذا ما يسمى A/D .

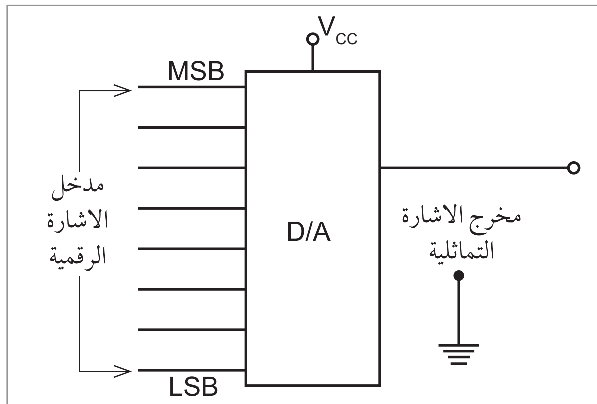
وكذلك بعد معالجة الإشارة رقمياً هناك حاجة لإعادتها إلى إشارة تماثلية مرة أخرى وهذا ما يسمى D/A .

وبالتالي في دارة التحويل A/D يكون مدخل الإشارة تماثلياً والمخرج رقمياً كما في الشكل (١) :



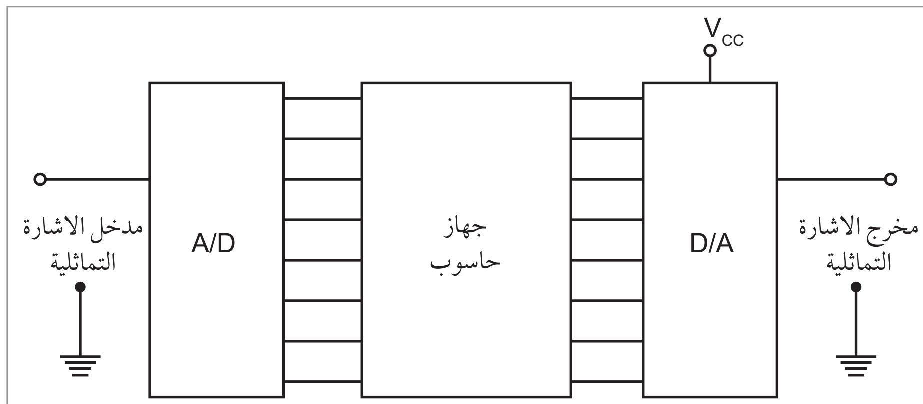
شكل (١) :

وفي دارة التحويل D/A يكون مدخل الإشارة رقمياً والمخرج تماثلياً كما في الشكل (٢) :



شكل (٢) :

وبما أنه يتم استخدام A/D و D/A في الأنظمة المختلفة التي تستخدم فيها المجسات والتحكم بعمل معين مثل التحكم بنظام المحرك في السيارة فإنه يمكن تمثيل النظام كما في الشكل (٣) :

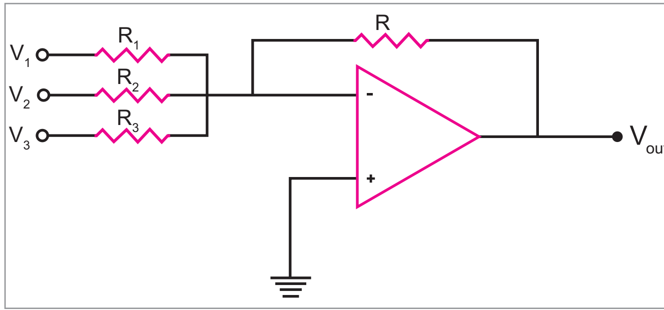


شكل (٣) :

وبما أنه من السهل تحويل الإشارة الرقمية إلى تماثلية ، فسنبدأ بهذا الموضوع ثم نتطرق إلى طرق تحويل الإشارة التماثلية إلى رقمية .

التحويل من رقمي إلى تماثلي D/A

يبين الشكل (٤) دارة لتحويل الإشارة الرقمية إلى إشارة تماثلية وهو عبارة عن مكبر عاكس يعمل كجامع باستخدام مضخم العمليات، كما مر معنا في السنة الماضية.



شكل (٤):

إذا تم تغيير قيم المقاومات، فإنه يتم اختلاف تأثير الفولتيات V_3,V_2,V_1 على فولتية الخرج V_{out}. لنأخذ مثلاً القيم التالية:

$R_3=4R, R_2=2R, R_1=R$. تصبح فولتية الخرج V_{out} كما يلي:

$$V_{out} = -(V_1 + \frac{V_2}{2} + \frac{V_3}{4})$$

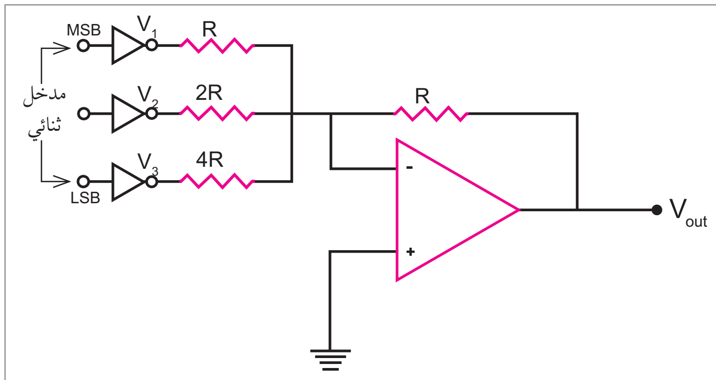
لاحظ أن تأثير فولتيات الدخل بدءاً من V_1 يكون نصف تأثير الفولتية التي قبلها. أي أن V_1 لها تأثير بنسبة 1:1 (كسب1) بينما V_2 لها تأثير بنسبة 2:1 (كسب $\frac{1}{2}$) والفولتية V_3 لها كسب ($\frac{1}{4}$).

ولم يأت اختيار هذه القيم بشكل عشوائي.

حيث إنها تمثل الأوزان المناظرة في نظام العدد الثنائي. (4 2 1 0 . . إلخ).

وبالتالي إذا جعلنا على المداخل للجامع العاكس بوابات منطقية لها مخرج V0 منطق (0) أو 5V (منطق 1)

فإن الدارة تصبح كما في الشكل (٥):



شكل (٥):

لنأخذ مثلاً الرقم الثنائي 001.

هذا يمثل الفولتيات $V_3 = 5V, V_2 = 0, V_1 = 0$

V_{out} تساوي

$$V_{out} = -(V_1 + \frac{V_2}{2} + \frac{V_3}{4})$$

$$V_{out} = -(0+0+\frac{5}{4}) = -1.25v$$

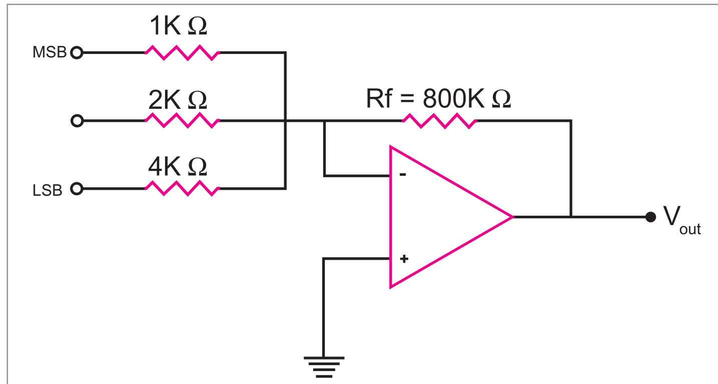
وبعمل نفس الشيء لجميع الأرقام، نحصل على النتائج كما الجدول التالي، (الجدول١):

لاحظ أنه مع تغيير العدد الثنائي يكون هناك تغير في فولتية الخرج بمقدار 1.25 فولت.

يمكن تعديل قيم المقاومات لنحصل على فولتيات تناظر تماماً قيم الأعداد الثنائية كما في الشكل (٦):

العدد الثنائي	Vout (v)
000	0
001	-1.25
010	-2.5
011	-3.75
100	-5.0
101	-6.25
110	-7.5
111	-8.75

الجدول (١)



شكل (٦):

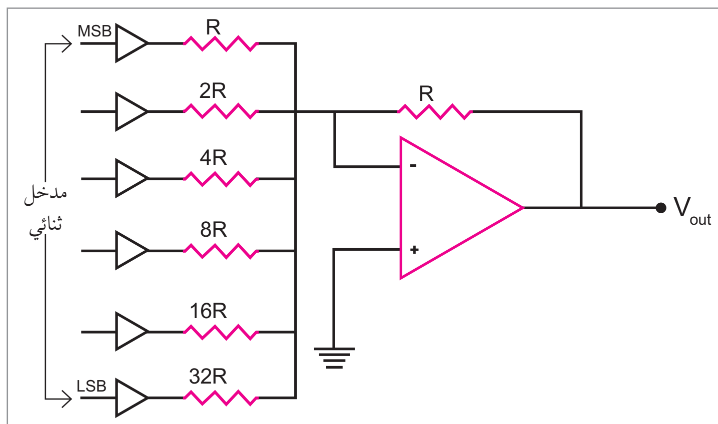
وبالتالي تصبح قيم الجدول كما يلي:

العدد الثنائي	العدد العشري	قيمة Vout (v)
000	0	0
001	1	-1
010	2	-2
011	3	-3
100	4	-4
101	5	-5
110	6	-6
111	7	-7

الجدول (٢)

وتسمى هذه الطريقة بـ $R/2^n R$ D/A.

إذا أردنا أن نزيد من دقة هذا D/A (بزيادة عدد المداخل)، نحتاج فقط إلى إضافة مقاومات أخرى على المداخل مع الحفاظ على نفس النسبة R/2n R. كما في الشكل (٧).

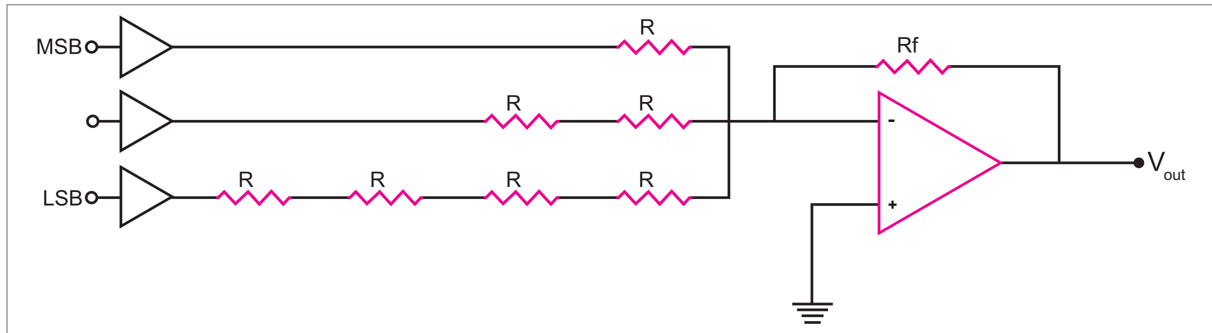


شكل (٧): ٦ خانات D/A

ومن الجدير بالذكر هنا، أنه يجب أن تكون فولتية مخرج جميع البوابات المنطقية متساوية تماماً في حالة المنطق (١)، حتى يعمل النظام D/A بالشكل الصحيح.

فلو كان مخرج إحدى البوابات 5.02+ فولتا في حالة المنطق (1) وبوابة أخرى 4.86+ مثلاً فإن مخرج D/A سوف يتأثر بشكل كبير. وكذلك ينطبق هذا الشرط على فولتية مخرج البوابات في حالة المنطق 0 بحيث يجب أن يكون يساوي صفراً تماماً. ولذلك ينصح عادة باستخدام بوابات من نوع CMOS ويتم اختيار المقاومات لتقليل التيار الذي تسحبه أو تخرجه كل بوابة.

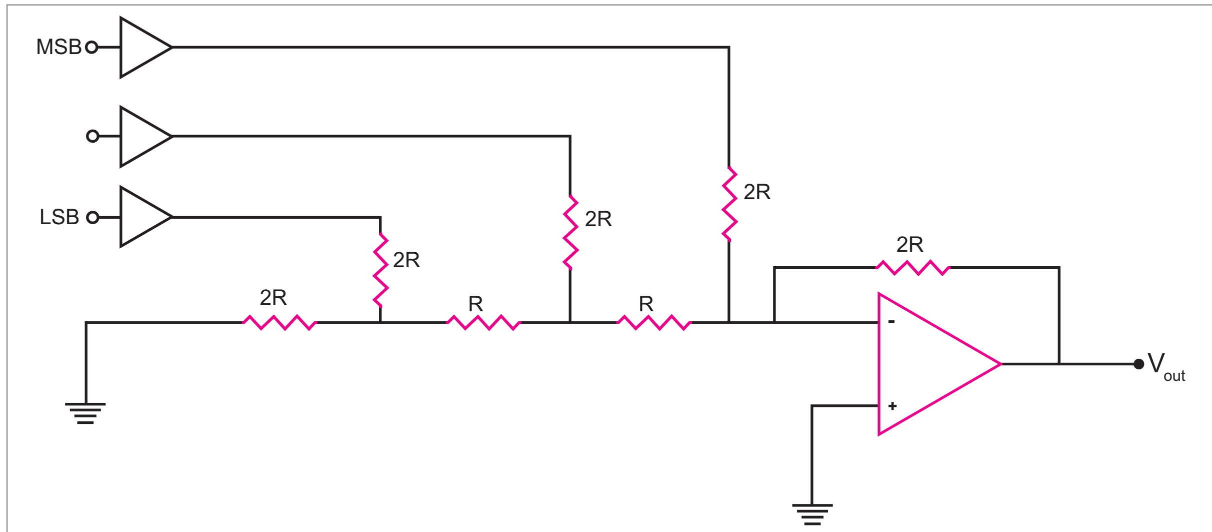
من سيئات الدارة السابقة هو الحاجة إلى قيم فريدة للمقاومات، خاصة عند زيادة عدد خانات البيانات الثنائية. إحدى الطرق للتغلب على هذه المشكلة هو وصل مجموعة على التوالي كما في الشكل (٨):



شكل (٨):

إلا أن هذا الترتيب غير فعال وذلك بسبب الحيز و فقد القدرة الذي سيصبح في الدارة.

وللتغلب على ذلك يمكن اعادة ترتيب المقاومات كما في الشكل (٩) بحيث تحتاج فقط إلى قيمتين هما R, 2R وتعرف هذه الطريقة بشبكة السلم (Ladder network)



شكل (٩):

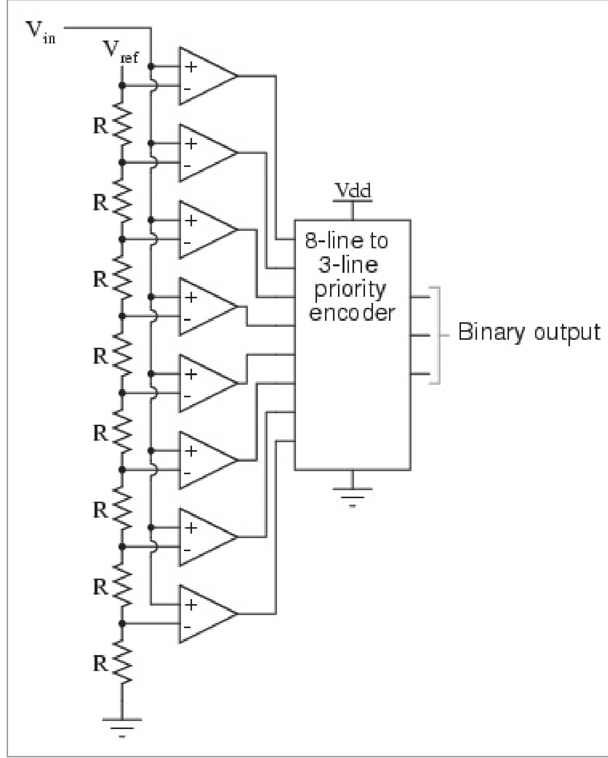
ويمكن تحليل هذه الدارة رياضياً، إلا أن ذلك خارج نطاق البحث هنا. وتكون النتيجة كما في الجدول (١).

ولكي تناظر قيم V_{out} الأرقام الثنائية يتم استخدام قيمة R_f =1.6R وتكون النتيجة كما في الجدول (٢).

التحويل من A/D (تماثلي إلى رقمي)

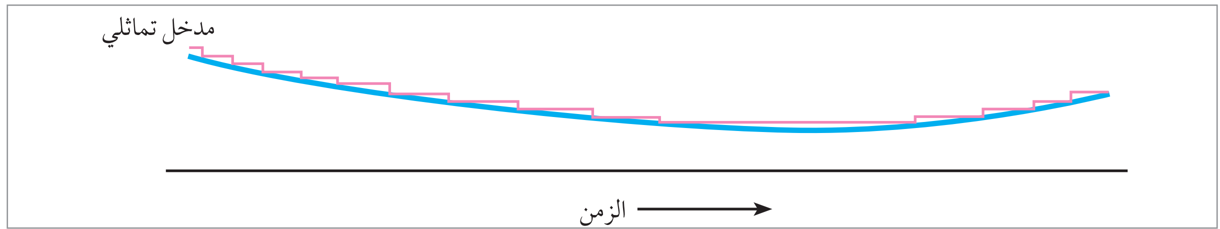
يبين الشكل (١٠) دارة تحويل من تماثلي إلى رقمي.

تسمى هذه الدارة بدارة التحويل المتوازي وتعدّ من أبسط دارات التحويل من تماثلي إلى رقمي.



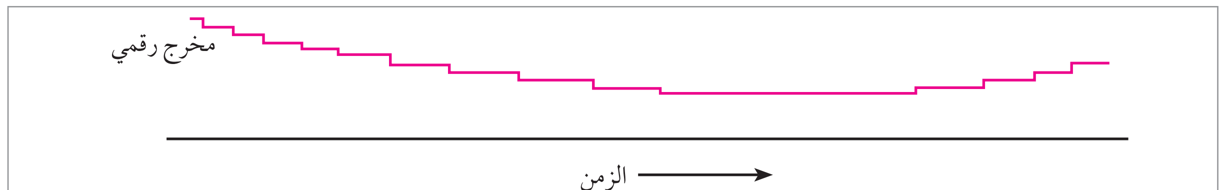
شكل (١٠):

تتكون هذه الدارة من مجموعة من المقارنات بحيث يقوم كل مقارن بمقارنة الإشارة الداخلية إليه مع فولتية مرجعية محدد. يتم تجميع مخارج المقارنات في دارة مرمز ذي أفضلية (Priority check encoder) الذي ينتج إشارة رقمية. وكما هو مبين في الشكل فإن الإشارة الرقمية الناتجة تتكون من 3 خانات. يتم تحديد الفولتية المرجعية V_{ref} عن طريق منظم فولتية دقيق، ويكون هذا جزءاً من الدارة، إلا أنه غير ظاهر في هذا الشكل. عندما يزيد مستوى الإشارة التماثلية عن فولتية المرجعية لكل مقارن، فإن مخرج المقارن سوف يكون في الحالة العالية. وتقوم دارة المرمز بتوليد عدد ثنائي اعتماداً على أعلى فولتية، متجاهلاً الفولتيات الأخرى. لنفرض أن الإشارة التماثلية كما في الشكل (١١):



شكل (١١):

عندما يتم تشغيل النظام يكون شكل الإشارة الخارجة كما في الشكل (١٢):

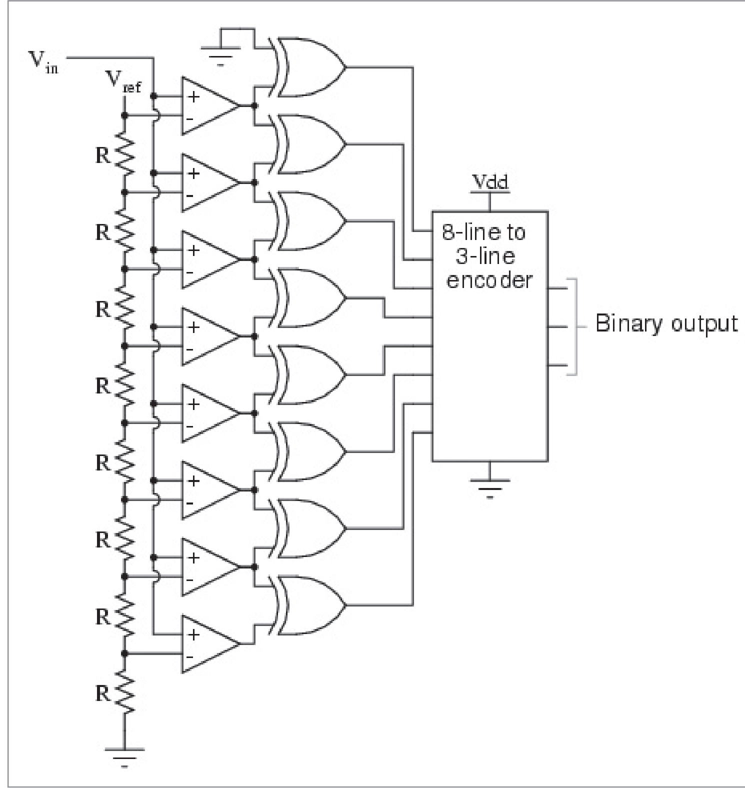


شكل (١٢):

لاحظ أن الإشارة الخارجة تأخذ قيماً منفصلة (discrete) بين أدنى وأعلى مستوى للإشارة التماثلية.

وفي هذا المثال تحديداً يمكن الإستغناء عن دارة المرمز نتيجة لطبيعة حالات مخارج المقارنات التتابعية.

(كل مقارن يصل إلى حالة الاشباع بالتتابع من الأدنى إلى الأعلى). وهذا الأثر يمكن تحقيقه من خلال مجموعة من بوابات الاستثناء (XOR)، وبالتالي يمكن استخدام مرمز بدون أفضلية. كما في الشكل (١٣).

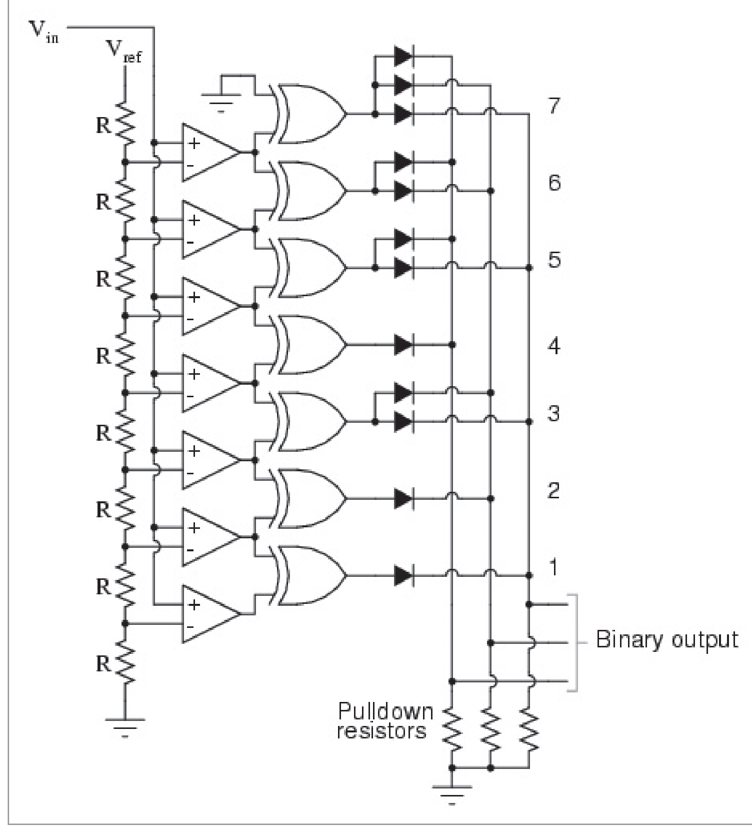


شكل (١٣):

وكذلك فإن دارة المرمز يمكن عملها من مصفوفة ثنائيات. وعليه تصبح الدارة النهائية كما في الشكل (١٤). إن هذا النوع من A/D هو الأبسط من حيث نظرية العمل، وكذلك الأكثر فعالية بين الأنواع الأخرى من حيث السرعة.

ولكن أحد مساوئه هو عدد المقارنات المستخدمة، وكذلك زمن التأخير الذي يحدث في البوابات.

لاحظ أنه في حالة 4 خانات تحتاج إلى 16 مقارن. وبما أن عدد الخانات المطلوبة من A/D هو 8 عادة، فإن عدد المقارنات المطلوبة يصبح 256- وبالتالي فإن هذه الطريقة تصبح غير مجدية في مثل هذه الحالة.



شكل (١٤):

وهناك أنواع أخرى، لا مجال للتطرق إليها في هذا الكتاب.

ومن الدارات المشهورة في التحويل من إشارة تماثلية إلى إشارة رقمية الدارة المتكاملة TLC549 التي تأخذ معطيات تسلسلية، ولها ثماني خانات على المخرج.

مدخل إلى المتحكم الدقيق (Microcontroller)

يعدّ المتحكم الدقيق مكوناً شائعاً في كثير من الأجهزة والأنظمة الإلكترونية الحديثة. وقدأصبح يستعمل على نطاق واسع بحيث أصبح من المستحيل أن تعمل في مجال الإلكترونات دون أن تتطرق إليه. ومن الأنظمة الإلكترونية التي تستخدم فيها المتحكم الدقيق ما يلي:

١- نظام إدارة المحرك في السيارات الحديثة.

٢- لوحة المفاتيح في جهاز الحاسوب.

٣- أجهزة القياس الإلكترونية الدقيقة مثل راسم الإشارة، وجهاز قياس التردد، وغيرها.

٤- الطابعات على اختلاف أنواعها.

٥- أجهزة الاتصالات الخلوية.

٦- أجهزة التلفاز الحديثة، وأجهزة الراديو الحديثة، وجهاز قارئ الأقراص المدمجة.

٧- الوسائل المساندة للسمع.

٨- أنظمة الأمن والحماية والحريق وأنظمة خدمة البيانات.

ويمكن للمرء أن يعد المزيد، وهذا يعطي الانطباع أن للمتحكم الدقيق العديد من الاستخدامات.

وفي سياق الفقرات القادمة نحاول الإجابة على الأسئلة التالية:

١- ما هو المعالج الدقيق (Microprocessor)؟

٢- ما هو المتحكم الدقيق (Microcontroller)؟

٣- ما الفرق بين المتحكم الدقيق والمعالج الدقيق؟

١- المعالج الدقيق (Microprocessor)

المعالج الدقيق هو تجميع لمجموعة من الوظائف في رقاقة إلكترونية واحدة، وهذه الوظائف هي:

١- القدرة على تنفيذ مجموعة من التعليمات المخزنة لتنفيذ عمل يعرفه المستخدم.

٢- القدرة على الوصول إلى رقاقة الذاكرة الخارجية من أجل قراءة أو كتابة البيانات والمعلومات من وإلى ذاكرة المعالج.

٢- أنواع الذاكرة:

يمكن أن تكون الذاكرة على أحد النوعين التاليين:

أ- ذاكرة للقراءة فقط (Read Only Memory- ROM) ويتم قراءة البيانات فقط من هذه الذاكرة، حيث أن هذه البيانات يتم تخزينها عند التصنيع.

ب- ذاكرة القراءة فقط المبرمجة القابلة للمسح:

Erasable Programable Read Only Memory (EPROM)

يشبه هذا النوع نوع الذاكرة في البند (أ)، ولكن يمكن للمستخدم أن يبرمج هذا النوع. ويمكن محو محتويات هذه الذاكرة، وذلك عن طريق تعريض الرقاقة إلى الأشعة فوق البنفسجية لفترة قصيرة من الوقت؛ ولذلك يمكن استخدامها مرات عديدة.

جـ- ذاكرة القراءة فقط المبرمجة القابلة للمسح الكترونياً:

Electrically Erasable Programmable Read Only Memory (EEPROM)

ويشبه هذا النوع نوع الذاكرة في البند (ب)، إلا أن جميع محتويات أجزاء هذه الذاكرة يمكن محوها عن

طريق المعالج الدقيق.

يتم استخدام ROM و EPROM لتخزين برنامج للمعالج الدقيق المستخدم في الأنظمة المختلفة التي تستخدم لتطبيقات محددة (أي أن صيغة البرنامج في هذه التطبيقات تبقى كما هي، ويتم تنفيذه كلما تم تشغيل النظام).

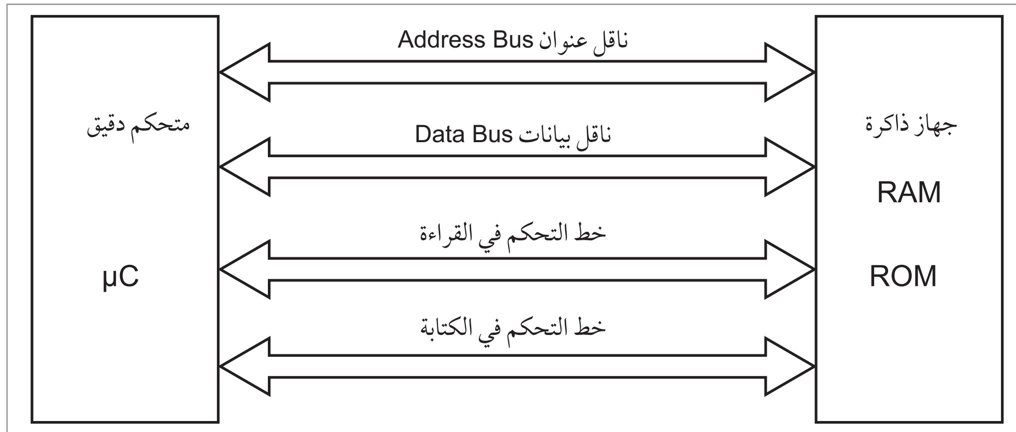
وعادة عندما يكون البرنامج قيد التطوير فإنه يخزن على ذاكرة من نوع EPROM أو EEPROM. وعندما يتم فحصه بشكل نهائي، تخزن النسخة النهائية منه على ذاكرة من نوع ROM.

د- الذاكرة الممكن الوصول إليها عشوائياً

Random Access Memory (RAM)

تحتاج جميع المعالجات الدقيقة إلى نوع ذاكرة، بحيث تستطيع أن تقرأ منه أو تكتب فيه. ولذلك تستخدم RAM لتخزين البيانات المتحركة Dynamic Data التي ممكن أن تتغير خلال فترة تنفيذ البرنامج.

إذن، فالمعالج الدقيق يحتوي على كلا النوعين من الذاكرة (ROM أو EPROM أو EEPROM) لتخزين شيفرة البرنامج (Program code) و RAM لتخزين البيانات المتحركة. ويوضح الشكل التالي الترابط الأساسي بين المعالج الدقيق والذاكرة بنوعيها.



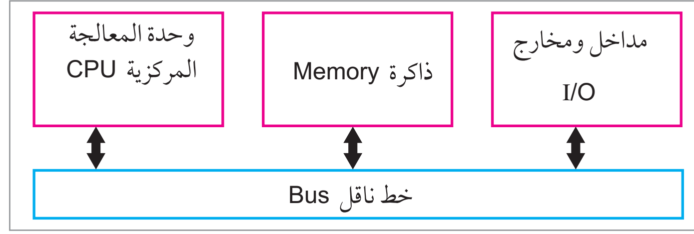
٣- مكونات المتحكم الدقيق (Microcontroller)

بعد أن بينا بعض المفاهيم الأساسية حول المعالج الدقيق، نحاول الآن التركيز على عمل المتحكم الدقيق ومكوناته، الذي يمكن تعريفه بأنه رقاقة تجمع عدة مكونات من المعالج الدقيق مثل:

- الجزء الأساسي من وحدة المعالجة المركزية CPU.
- الذاكرة بنوعيها (ROM & RAM).

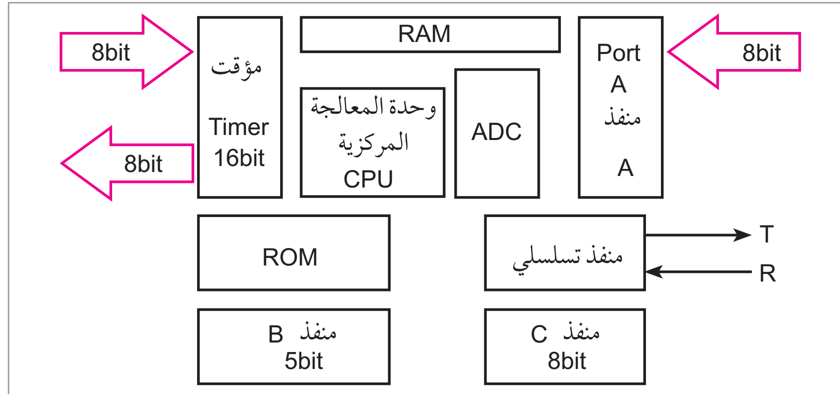
- مجموعة مداخل ومخارج I/O (Output/ Input)

انظر الشكل التالي :



- وحدة زمن بحيث تمكن المتحكم الدقيق من تنفيذ مجموعة من المهام ضمن فترة زمنية محددة .
- مجموعة من المخارج والمداخل التسلسلية للسماح بتنقل البيانات بين المتحكم الدقيق والأجهزة الأخرى المتصلة به كجهاز الحاسوب أو متحكم آخر .
- وحدة تحويل تماثيلية/ رقمية ADC للسماح للمتحكم الدقيق بقبول أو التعامل مع إشارات تماثلية ومعالجتها رقمياً .

ويوضح الشكل التالي المخطط الصندوقي للمتحكم الدقيق والوحدات المختلفة التي يتم تصنيعها على رقاقة واحدة من شركة Microchip .



تعدّ وحدة المعالجة المركزية بمثابة القلب للمتحكم الدقيق . وكان في السابق يستخدم CPU ذو 8 خانات . فعلى سبيل المثال تستخدم شركة موتورولا وحدة CPU من طراز 6800 في معالجاتها الدقيقة من طراز هي 6808 / 6805 .

وفي السنوات الأخيرة، تم تطوير متحكمات دقيقة تتمحور حول نوع محدد من وحدة المعالجة المركزية مثل المتحكمات التي تصنعها شركة Microchip ومعروفة باسم PIC Controller .

يمكن الرجوع إلى المواقع الإلكترونية التالية للتعرف على المتحكمات الخاصة بالشركتين المذكورتين أعلاه WWW.Motorola.com و WWW.Microchip.com .

٤- سعة الذاكرة في المتحكم الدقيق

تختلف سعة الذاكرة في المتحكم الدقيق من نوع إلى آخر . وبعضها قد لا يحتوي على ذاكرة مدمجة ، مثل المتحكم Hitachi 6503 الذي لم يعد يصنع . ولكن معظم المتحكمات الحديثة تحتوي على ذاكرة مدمجة مقسمة بين ROM و RAM . وعادة تكون سعة ROM أكبر من سعة RAM . فمثلاً تتراوح سعة ROM بين 512 بايت و 4096 بايت . وهناك بعض الأنواع مثل المتحكم الدقيق Hitachi H8/3048 الذي له ذاكرة من نوع ROM بسعة 128 كيلو بايت . وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذه الذاكرة ممكن أن تكون ROM أو EPROM أو EEPROM . أما سعة RAM فتتراوح بين 25 بايت و 4 كيلو بايت .

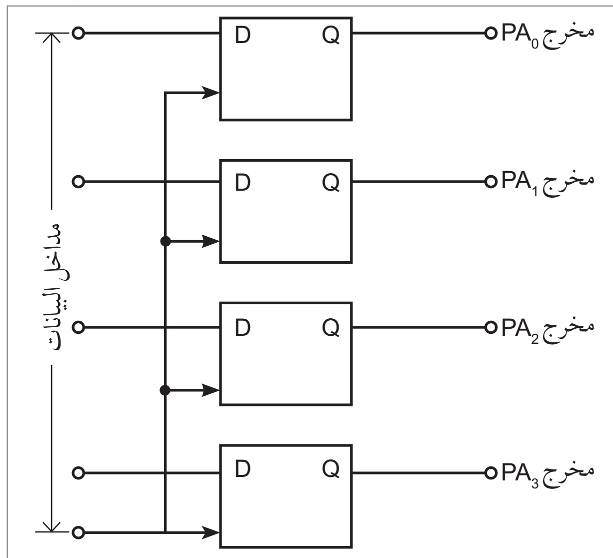
٥- منافذ المداخل والمخارج: Input/ Output Ports

المنافذ هي الوسائل التي تربط بين المتحكم الدقيق والبيئة المحيطة به . وتكون عادة مجموعة من الخانات الرقمية (٨ خانات) أو ما يعرف بالبايت ، تسمى منفذاً (port) .

١- هناك منفذ تسلسلي من المتحكم الدقيق لاستقبال (Rx) وإرسال (Tx) البيانات تسلسلياً باستخدام سلك مزدوج (Two- Wire Pair) .

٢- يمكن وصل أجهزة مختلفة بالمتحكم الدقيق عن طريق هذه المنافذ مثل أجهزة ADC و DAC والمؤقتات وغيرها .

ويمكن تحقيق منفذ المخرج Output Port باستخدام مجموعة نطاطات من نوع D-flip-flops كما في الشكل التالي :

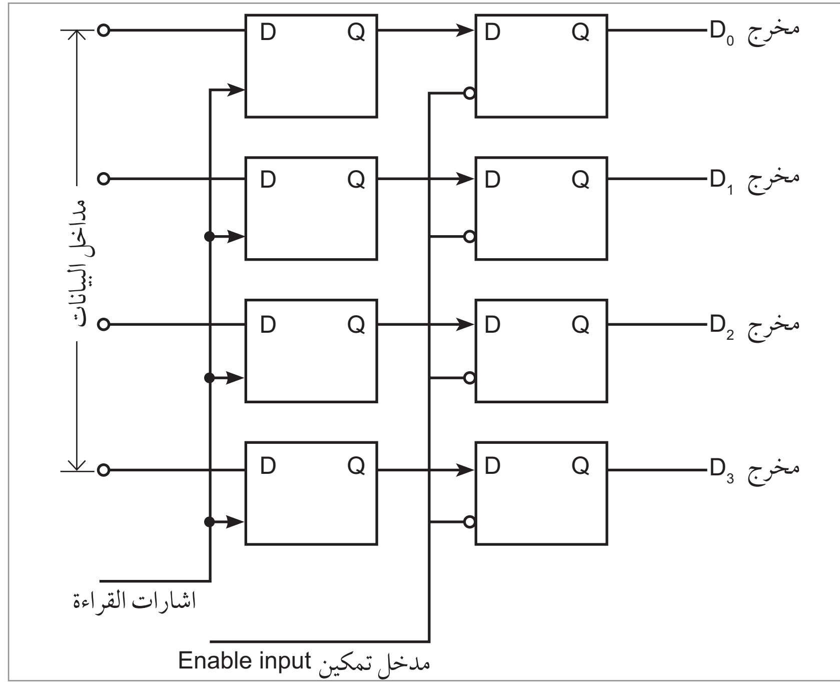


لاحظ أن هذا الشكل يوضح منفذاً ذا أربع خانات . يتم وصل المداخل إلى ناقل البيانات (Data Bus) بينما يتم وصل المخارج إلى الأجهزة المراد التحكم بها .

منفذ المدخل

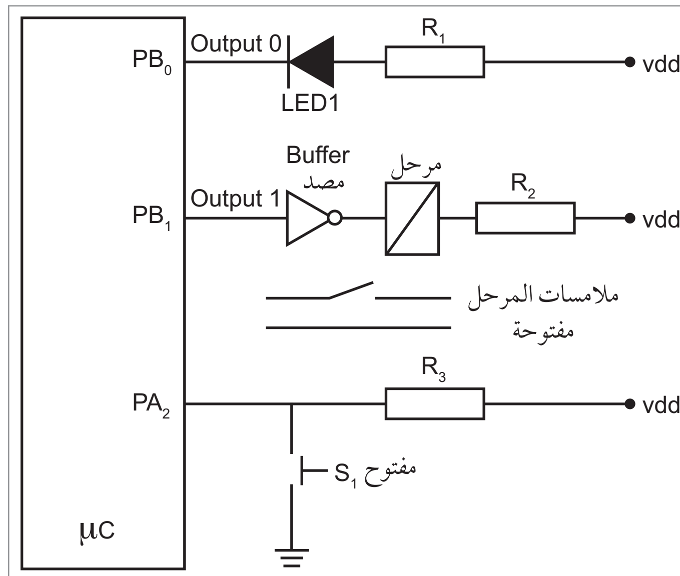
يمكن منفذ المدخل من تخزين البيانات التي يتم قراءتها من المعالج الدقيق عن طريق ناقل البيانات . يتم وصل ناقل البيانات عبر مصد (Buffer) ذي ثلاث حالات (Tri-states) إذ إن منفذ المدخل يوصل إلى ناقل البيانات فقط عند اختيار منفذ المدخل .

ويوضح الشكل التالي . منفذ مدخل ذي أربعة مداخل :



يختلف عدد المداخل والمخارج باختلاف نوع المتحكم . فهناك متحكمات بأربعة مداخل/ مخارج . هناك أنواع لها 33 مدخلاً/ مخرجاً وفي بعض الأنواع يمكن أن يصل عدد المداخل/ المخارج إلى 78 .

ويوضح الشكل التالي توصيل المتحكم الدقيق بالبيئة المحيطة به ، (LED) ومرحل .



ليست جميع المتحكمات قادرة على تشغيل المرحل أو الثنائي الضوئي مباشرة فبعضها بحاجة إلى Buffer

مثل الرقاقة 7406 التي لها مجمع مفتوح عاكس .

٦- الوحدات الطرفية التي يحتويها المتحكم الدقيق

تحتوي معظم المتحكمات الدقيقة على وحدات طرفية تسهل عملية معالجة البيانات والإشارات الداخلة والخارجة من المتحكم ، ومن هذه الوحدات :

١ - وحدة التوقيت Timer Module .

٢ - وحدة الإدخال/ الإخراج التسلسلي Serial I/O Module

٣ - وحدة التحويل من إشارة تماثلية إلى إشارة رقمية A/D Converter Module .

وقد كانت هذه الوحدات سابقاً تصمم على رقاقات منفصلة إلا أنها هذه الأيام تأتي كجزء من المتحكم الدقيق ، مما يعطي خدمة أفضل ويوفر من الحيز اللازم لربط هذه الوحدات .

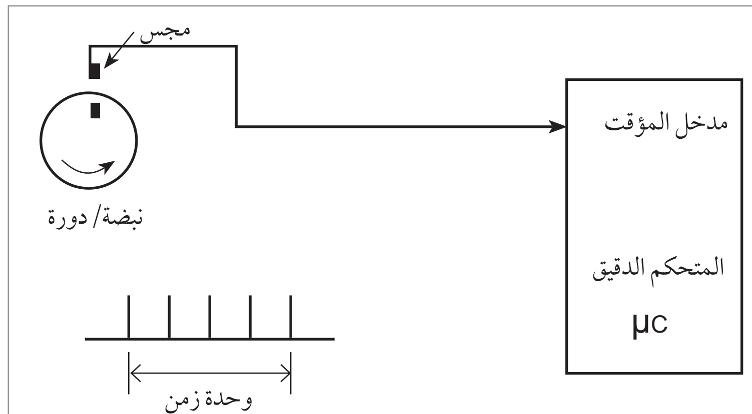
وسنعرض فيما يلي وصفاً موجزاً لكل منها .

١- وحدة التوقيت:

من المتطلبات العامة لأي متحكم دقيق قدرته على تشغيل وإطفاء مخرج معين مثل مرحل أو LED لفترة معينة من الزمن ، ويمكن عمل هذه عن طريق تشغيل الجهاز وجعل المتحكم الدقيق يتحكم بعملية التوقيت ومن ثم إطفاء الجهاز ، ويتم ذلك عن طريق عداد بحيث يتناقص العد بعد فترة معينة من الزمن .

إن هذه الطريقة غير مجدية وذلك لأن المتحكم الدقيق يمكن أن يقوم بأعمال أخرى أثناء فترة التوقيت . ولذلك يمكن إضافة مؤقت إلى المتحكم ليقوم بعملية التوقيت بينما يقوم المتحكم بأعمال أخرى . وتحتوي معظم المتحكمات على وحدة توقيت واحدة على الأقل لها عادة عدة مداخل ومخارج .

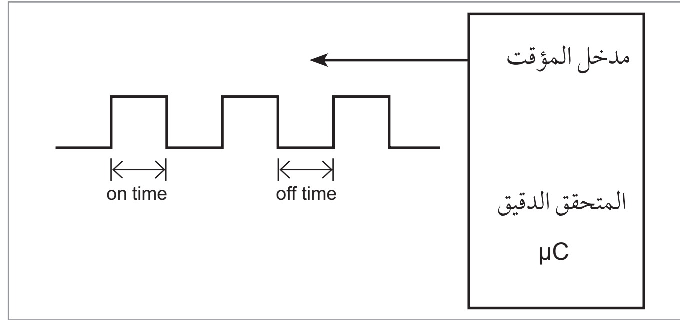
عن طريق مداخل المؤقت يمكن استعمال المؤقت لقياس فترة إشارة مطبقة على مدخل المؤقت كما في الشكل التالي :



يقوم المتحكم الدقيق بعد عد النبضات في خلال وحدة الزمن ليحدد بذلك سرعة الدوران .

في هذا المثال، يقوم العمود الدوار بإنتاج نبضة واحدة كل دورة . ويقوم المتحكم الدقيق بقياس الوقت المتستغرق لإحداث دورة كاملة، وعليه يحدد السرعة الزاوية للعمود الدوار .

أيضاً عن طريق مخارج المؤقت يمكن التحكم بدارة (مثلاً دارة منطقية) كما في الشكل التالي .



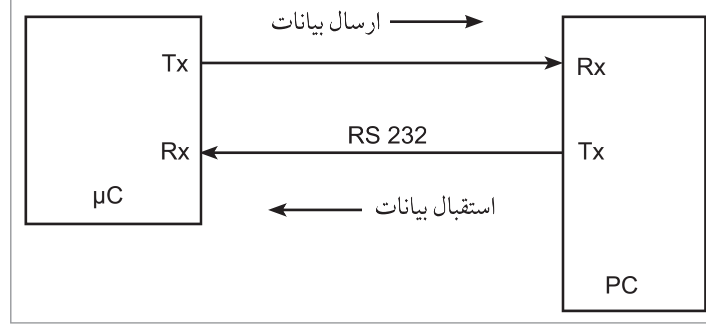
يقوم المتحكم بتغيير زمن on وزمن off ديناميكياً عن طريق برمجة المؤقت خلال فترة تنفيذ البرنامج .

ومن الوظائف الهامة التي يقوم بها المؤقت إحداث تأخير برمجة المؤقت بقيمة عدد معينة ومن ثم عدها تنازلياً حتى الصفر . وعندما يصل المؤقت إلى قيمة الصفر يتم تشغيل علماً Flag، الذي يكون مراقباً من قبل البرنامج لكي يعرف المتحكم الدقيق حتى يصل المؤقت إلى الصفر .

بما أن الوقت الذي يستغرقه المؤقت ليصل إلى قيمة الصفر هو عبارة عن قيمة العد المعينة مضروبة في الوقت الذي يستغرقه المؤقت، نحصل على مدة تأخير معينة .

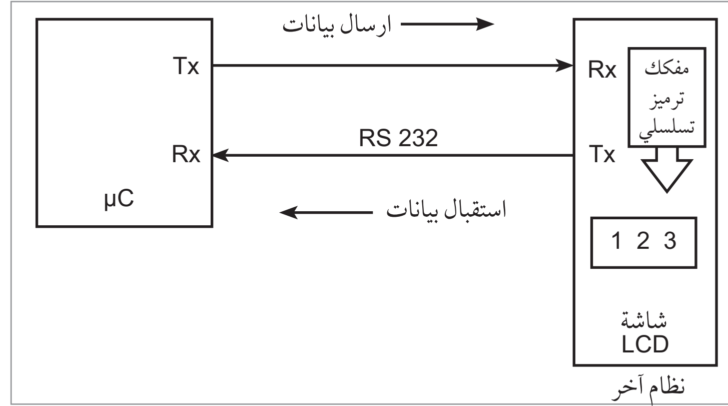
٢-المنفذ التسلسلي:

تحتوي بعض المتحكمات الدقيقة على منفذ تسلسلي بحيث يمكن نقل البيانات إلى متحكم دقيق آخر، جهاز حاسوب من خلال زوج من الأسلاك . ومع أن هذه طريقة شائعة لنقل البيانات إلا أنها أشد بطئاً عند نقل بيانات من منفذ توازٍ . ويمكن برمجة معدل نقل البيانات بين (baud 300 في الدقيقة) إلى معدلbaud 38400 في الدقيقة . ويسمى عادة المنفذ التسلسلي بـ Serial Communication Interface (SCI)، ومعظم (SCI) الموجودة في المتحكم الدقيق هي عبارة عن جزء من المنفذ التسلسلي القياسي الموجود في جهاز الحاسوب والذي يسمى Universal Asynchronous Receiver /Transmitter (UART)، يبين الشكل التالي متحكماً دقيقاً له وحدة (SCI) موصولاً مع جهاز حاسوب من خلال زوج Rx/Tx .



تجدر الإشارة هنا إلى المستوى المنطقي من منفذ SCI هي TTL . ولذلك عند ربط المتحكم الدقيق مع جهاز الحاسوب نحتاج إلى رقاقة لمواءمة ربط TTL مع RS232 . تقوم هذه الرقاقة بتحويل مستوى الاشارات من مستوى TTL إلى مستوى RS232 ويكون أيضاً هناك رقاقة مناظرة تعمل على مواءمة RS232 إلى مستوى TTL لرقاقة UART المستخدمة في جهاز الحاسوب، وهذه المواءمة غير موضحة في الرسم.

في بعض التطبيقات تكون هناك حاجة لمواءمة خاصة يتم تصميمها مع المنفذ التسلسلي. كما في الشكل التالي:

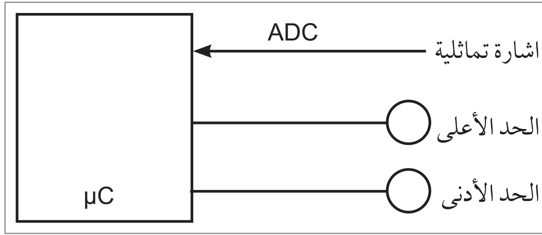


- يمكن أن يكون النظام الآخر شاشة LCD مع تحويل من تسلسلي إلى توازٍ.
- التحويل من إشارة تماثلية إلى رقمية

تكون الإشارات في الطبيعة عادة تماثلية. فعلى سبيل المثال قد نحتاج إلى مراقبة إشارة تماثلية من مقياس الانفعال (Strain Gauge) أو من مجس يحول الحرارة إلى إشارة كهربائية تماثلية. وبما أن المتحكمات الدقيقة تستخدم أحياناً في مثل هذه التطبيقات فإنه يتم تزويدها بوحدة A/D تقوم بتحويل الإشارات التماثلية إلى رقمية.

وفي معظم الحالات يكون A/D من نوع التقريب التتابعي (Successive Approximation). ويكون هناك عدد من القنوات (channels) من 4 إلى 8 في معظم الحالات.

من غير المألوف في وحدات ADC أن يكون عدد الخانات أكبر من 10 خانات .



يبين الشكل التالي متحكماً دقيقاً يستخدم لقياس مستوى الإشارة التماثلية . يتم برمجة التحكم الدقيق بحيث أن أحد مداخله يقبل إشارة دخل تماثلية . يقوم البرنامج بتحويل الإشارة التماثلية إلى إشارة رقمية ، ويقوم بتحديد فيما إذا كان اتساع الإشارة التماثلية أكبر من حد معين يتم تحديده مسبقاً . عند ذلك يتم إضاءة ثنائي انبعاث ضوئي (LED) معين .

٧- برمجة المتحكم الدقيق

سنعرض في هذا الدرس متطلبات برمجة المتحكم الدقيق بلغة التجميع (Assembly Language) . ومن ثم نورد بشيء من التفصيل مجموعة التعليمات الخاصة بالمتحكمات من نوع PIC مع أمثلة . كذلك سيتم التطرق إلى أساسيات البرمجة أثناء السياق .

يتم تصميم مجموعة التعليمات (Instruction Set) للمتحكم الدقيق بحيث يتم التحكم بطريقة فعالة في أجزاء المتحكم الداخلية ، وكذلك الأجهزة المحيطة التي توصل مع المتحكم الدقيق من خلال منافذه .

من أهم المتطلبات لمجموعة التعليمات :

- التحكم بمجموعة المسجلات (Register Set) الموجودة في المتحكم الدقيق بطريقة سهلة .
- القدرة على الوصول إلى المنافذ والأجزاء الطرفية الأخرى وإلى مسجل الحالة (Status Register) .
- القدرة على الوصول إلى الخانات بشكل منفرد لكل منفذ أو مسجل .
- القدرة على فحص المنافذ والمسجلات بشكل منفرد .
- القدرة على قطع (Interupt) التعليمات عند اللزوم .
- مجموعة من العناوين (addressing modes) .

تختلف مجموعة التعليمات من متحكم دقيق إلى آخر .

فبعض المتحكمات له مجموعة تعليمات كبيرة مثل Hitach H83048 وموتورولا MC6808 .

والبعض الآخر له مجموعة تعليمات صغيرة مثل مجموعة PIC من شركة Microchip .

– متطلبات البرمجة للمتحكم الدقيق

تشبه متطلبات البرمجة للمتحكم الدقيق متطلبات البرمجة لأي جهاز حاسوب . وهذه المتطلبات هي :

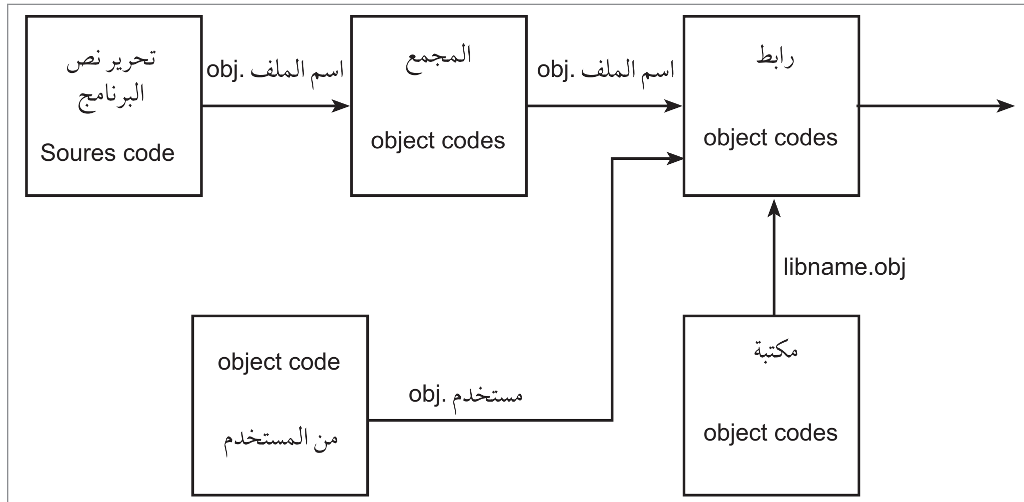
- محرر نص (Text editor) لكتابة نص البرنامج (Source code) .
- برنامج مجمع (Assembler) لإنتاج برنامج بلغة الآلة قابل للتنفيذ .
- صيغة للمعالجة وفحص البرنامج (debugging) .
- قدرة المبرمج على الوصول إلى جهاز معين .

تكون وظيفة البرنامج المجمع Assembler هي تحويل نص البرنامج (Source code) الذي يكتبه المبرمج إلى ما يسمى بـ Object file code . ويتم ذلك باستبدال كل سطر مكتوب بلغة التجميع (Assembly Language) إلى ما يناظره بلغة الآلة (machine code) الذي سوف يتم تنفيذه من المتحكم الدقيق .

وبما أنه لا يمكن تنفيذ ملف object code file مباشرة من المتحكم الدقيق ، فإن هذا الملف يمر عبر برنامج يسمى الرابط (Linker) .

وتكون وظيفة الرابط هي أخذ ملف object file الذي ينتجه المجمع ، ويربطه مع وحدات نمطية (يتم تجميعها مسبقاً في ملف Object file لإنتاج ملف قابل للتنفيذ ، ويمكن تحميله في ذاكرة المتحكم الدقيق .

في بعض الحالات يتم ضم المجمع والروابط في برنامج واحد بحيث يتم إنتاج لغة الآلة مباشرة . وهذا مايحدث في المتحكمات الدقيقة من نوع PIC . يبين الشكل التالي المراحل اللازمة لإنتاج البرنامج .



- اسم الملف هو اسم البرنامج الذي يكتبه المستخدم بالتالي يكون مخرج المحرر هو ملف المصدر (soure file) filename. asm

- يكون الملف الذي ينتج من المجمع هو Filename.obj
- يقوم الرابط بربط الملف file name. obj مع ملفات Object في البرنامج . وكذلك مع ملفات Object يريدها المستخدم .
- يكون مخرج الرابط هو البرنامج المكتوب بنظام الستة عشر Hexadecimal والذي يتم تنفيذه من قبل المتحكم الدقيق عن طريق برنامج يسمى المحمل (Loader) يقوم بتحميل البرنامج من القرص الصلب إلى المتحكم الدقيق .

لاحظ أنه فقط في مرحلة كتابة (تحرير البرنامج) يكون هناك تدخل من المستخدم . وبقية المراحل يتم عملها بشكل آلي من خلال أدوات المجمع والرابط .

يحتوي الملف الذي يكتبه المستخدم على تعليمات، يتم بموجبها تحديد المكان الذي سيتم وضع ملف hex فيه في المتحكم الدقيق .

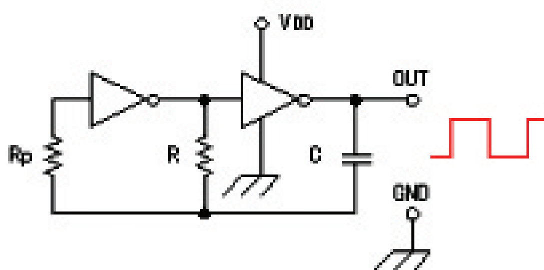
تطبيقات الدارات المنطقية

١- دارة مذبذب غير مستقر:

أ- دارة مذبذب موجة مربعة .

يمثل الشكل التالي دارة مذبذب موجة مربعة باستخدام بوابة العاكس (inverter) باستخدام الرقاقة (4069UB) من نوع (CMOS) .

يتم تحديد تردد المذبذب باستخدام العلاقة



$$F = \frac{1}{2.2RC}$$

F : التردد بالهيرتز

C : سعة المكثف (فاراد)

R : مقدار المقاومة (أوم)

ب- دارة مذبذب موجة مربعة باستخدام قادح شميت .

يمكن الحصول على موجة مربعة باستخدام رقاقة قادح شميت من نوع (CMOS) رقم (74HC14) .
بالاعتماد على خاصة الهستيريا (Hysteresis) التي تعني أن هذه الرقاقة تتصرف بشكل مختلف عند زيادة فولتية الدخل عنه عندما تقل فولتية الدخل . انظر الشكل التالي :
عند استخدام الرقاقة (74HC14)، فإن التردد يعطى بالعلاقة التالية :

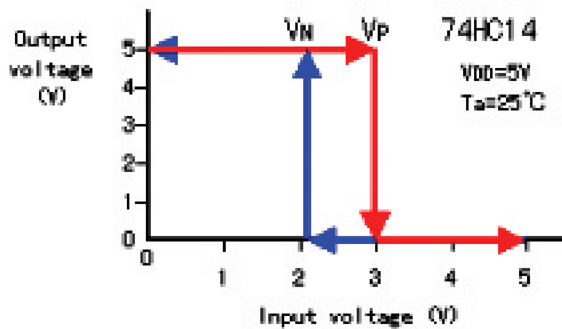
$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{RC}$$

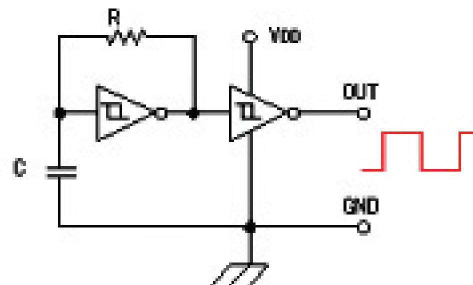
حيث :

F : التردد بالهيرتز

C : سعة المكثف (فاراد)

R : مقدار المقاومة (اوم)

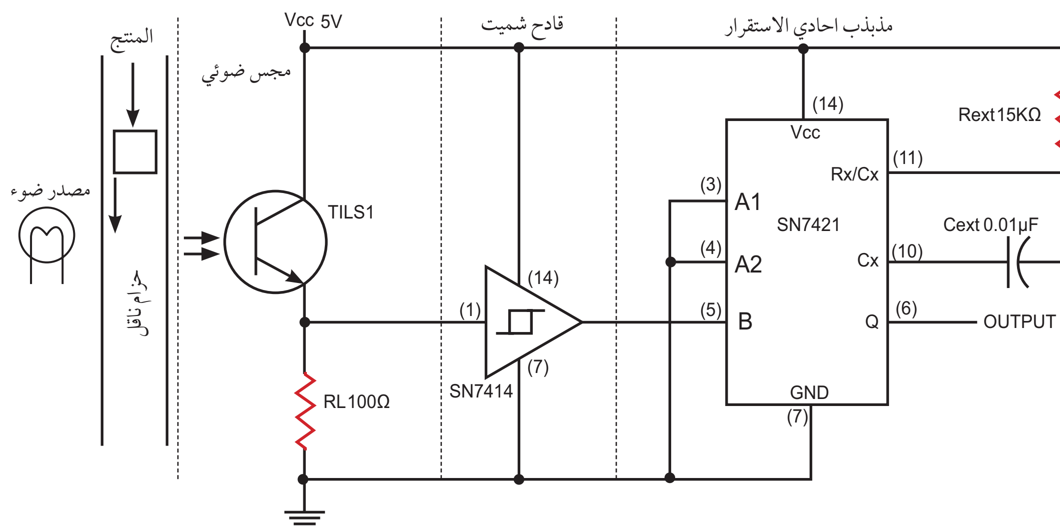




٢- دارة مذبذب أحادي الاستقرار:

تمثل الدارة المبينة في الشكل التالي دارة تشكيل نبضات مذبذب أحادي الاستقرار . حيث إنه في كثير من التطبيقات تكون النبضات الناتجة عن المجسات غير متماثلة في الاتساع .

في الوضع الطبيعي عندما لا يكون جسم على الحزام الناقل ، فإن الترانزستور الضوئي يكون في حالة (وصل) نتيجة لتعرضه للضوء . وتكون النقطة ٩ في وضع منطق عالٍ (5 V) . مما يجعل مخرج دارة شميت في وضع منخفض (L) . ويبقى المذبذب أحادي الاستقرار في وضع الاستقرار . عندما يقطع جسم مسار الضوء الساقط على الترانزستور الضوئي يتحول هذا الترانزستور إلى حالة الفصل (Off)، وبالتالي تكون النقطة ٩ في وضع منطق منخفض (0 V) . مما يجعل مخرج دارة شميت في وضع عالٍ (H) . وهذه تُشكل نبضة قدح للمذبذب أحادي الاستقرار (74121) فيتحول إلى حالة عدم الاستقرار لفترة زمنية تحدد بقيمة المقاومة R_{ext} والمكثف C_{ext} .

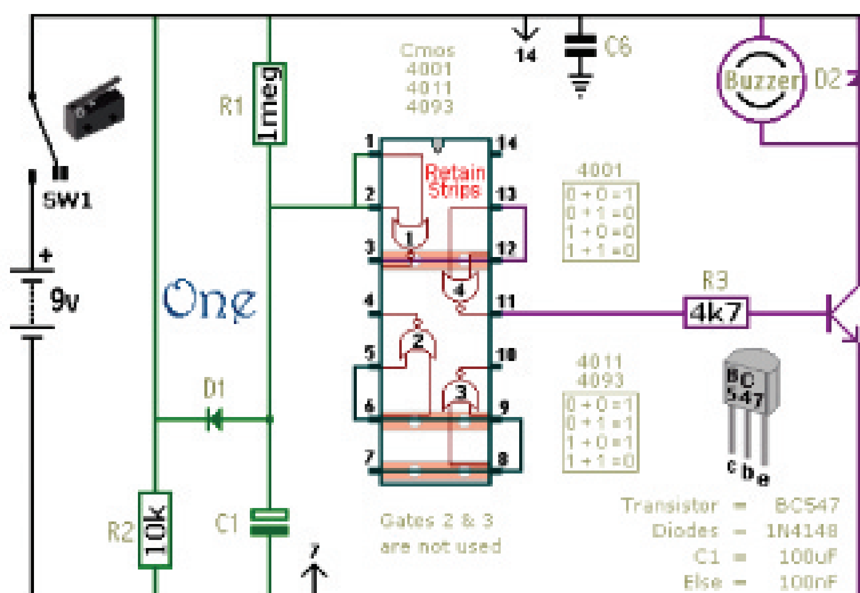


٣- دارة انذار بسيطة:

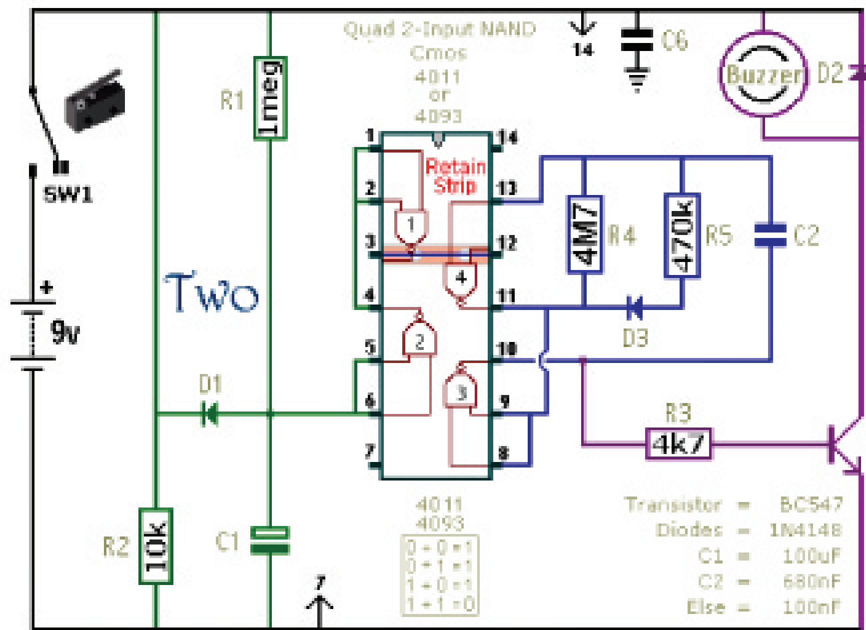
يبين الشكل التالي دارة إنذار بسيطة، تعمل على البطارية وتسحب تياراً صغيراً في وضع الإيقاف (Stand By). تستخدم بالأساس الدارة المتكاملة (CMOS4093) أو الدارات المتكاملة (CMOS4001) أو (CMOS4011). تجدر الإشارة إلى أن الدارة المتكاملة (CMOS4093) هي دارة قادح شميت ومع أنه يمكن استخدام كليهما، إلا أن الدارة المتكاملة (CMOS4093) لها أداء مفتاحي (Switching Performance) أفضل يلاحظ عادة عندما تكون الفترة الزمنية أطول.

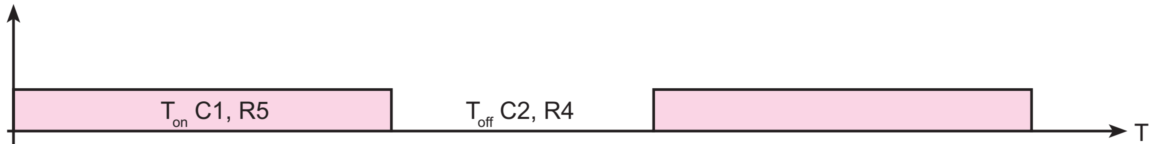
وتعمل هذه الدارة كما يلي:

عندما يكون المفتاح (SWI) مفتوحاً فإن الدارة لا تسحب أي تيار، وبعد إغلاق المفتاح بحوالي 90 ثانية فإنها تحدث صوتاً عن طريق الجرس (Buzzer). ويمكن تحديد الزمن الذي بعده يتم تشغيل الجرس بالاعتماد على المقاومة R1 والمكثف C1. يمكن استخدام هذه الدارة في تطبيقات أخرى، بحيث يتم استبدال الجرس (Buzzer) بمرحل صغير أو عازل ضوئي. وفي حالة استخدام مرحل، يجب أن تكون مقاومة ملفه على الأقل 250 أوماً. وعند استخدام العازل الضوئي، يتم وصل مقاومة مقدارها (1K) على التوالي مع الثنائي الضوئي.



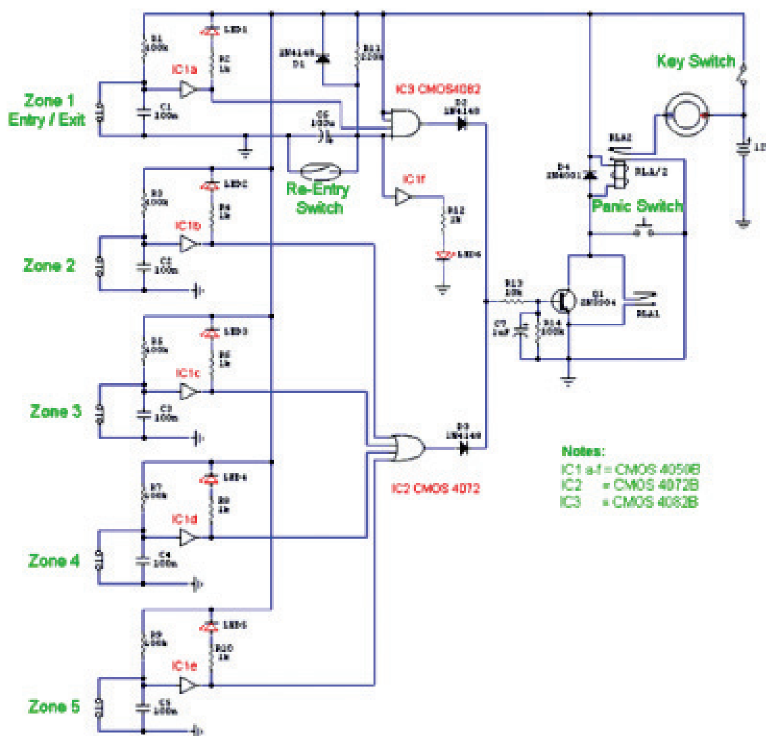
وباستخدام الرقاقة 4011 يمكن تعديل الدارة بحيث تعطي إنذاراً صوتياً متقطعاً. تعتمد طول فترة الصوت(T_{on}) على المقاومة R5 والمكثف C5، بينما يحدد الزمن بين الأصوات (T_{off}) عن طريق المقاومة R4 والمكثف C5.





٤- دارة إنذار من خمسة أماكن:

يبين الشكل التالي دارة حماية، يتم تثبيت ملامسات مغلقة عادة في كل منطقة. تكون هذه الملامسات عبارة عن مفاتيح دقيقة (micro switches) أو ملامسات إنذار قياسية (عادة مفاتيح Reed). تمثل المنطقة الأولى المخرج والمدخل الرئيسي للبوابة، ولا يتم تشغيل الإنذار مباشرة منها. أما المناطق من 2 إلى 5 فهي مناطق يتم تشغيل الإنذار منها بدون أي تأخير. تعمل المكثفات (C1– C5، C7) وكذلك المقاومة R14 على إخماد التيارات

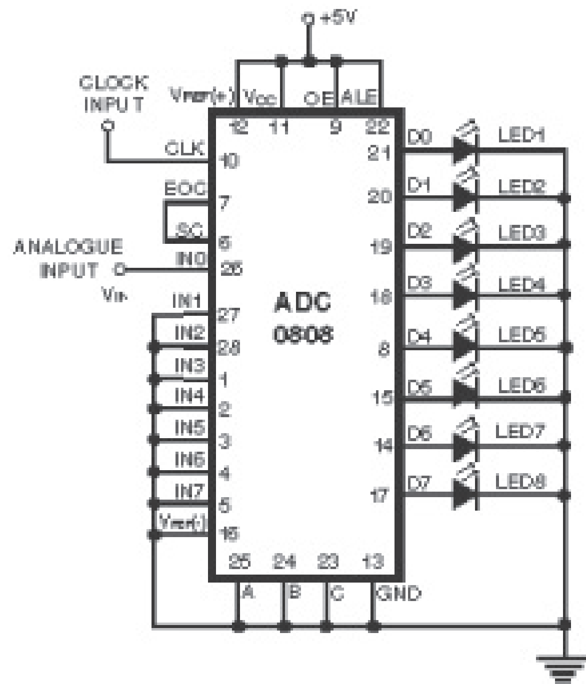


غير المستقرة. وتؤدي مناعة ضد تشويش الأمواج الراديوية. يعمل المفتاح الرئيسي (Key Switch) على تشغيل الدارة وإطفائها. ويجب أن يكون هذا المفتاح من النوع المعدني.

عندما يتم إغلاق هذا المفتاح يبدأ المكثف C6 بالشحن من خلال المقاومة R11. يحدد المكثف C6 والمقاومة R11 مقدار زمن الخروج (حوالي 30 ثانية). بعد مرور هذه الفترة يضيء الثنائي الضوئي (LED6) معلناً أن نظام التحذير يعمل. يمكن تثبيت هذا الثنائي في مكان ما يكون ظاهراً للعيان ليوضح أن نظام التحذير يعمل.

بعد ذلك فإن فتح أي ملامس من الملامسات بما فيها الملامس المثبت على المدخل الرئيسي سيؤدي إلى تشغيل الإنذار. ولمنع تشغيل الإنذار عند دخول البناية يتم تشغيل المفتاح المخفي (re-entry switch) بما يؤدي إلى تفريغ المكثف ويبدأ وقت الدخول. يمكن أن يكون المفتاح المخفي من نوع reed مثبتاً في أي مكان ضمن إطار الباب وغير ظاهر للعيان. عند الضغط على مفتاح الخوف (Panic Switch) يتم تشغيل التحذير. يعمل ملامس المرحل RLA1 بدل الضاغط بينما ملامس المرحل الثاني RLA2 يقوم بتشغيل الصافرة (siren).

٥- دارة لتحويل الإشارة التماثلية إلى رقمية:



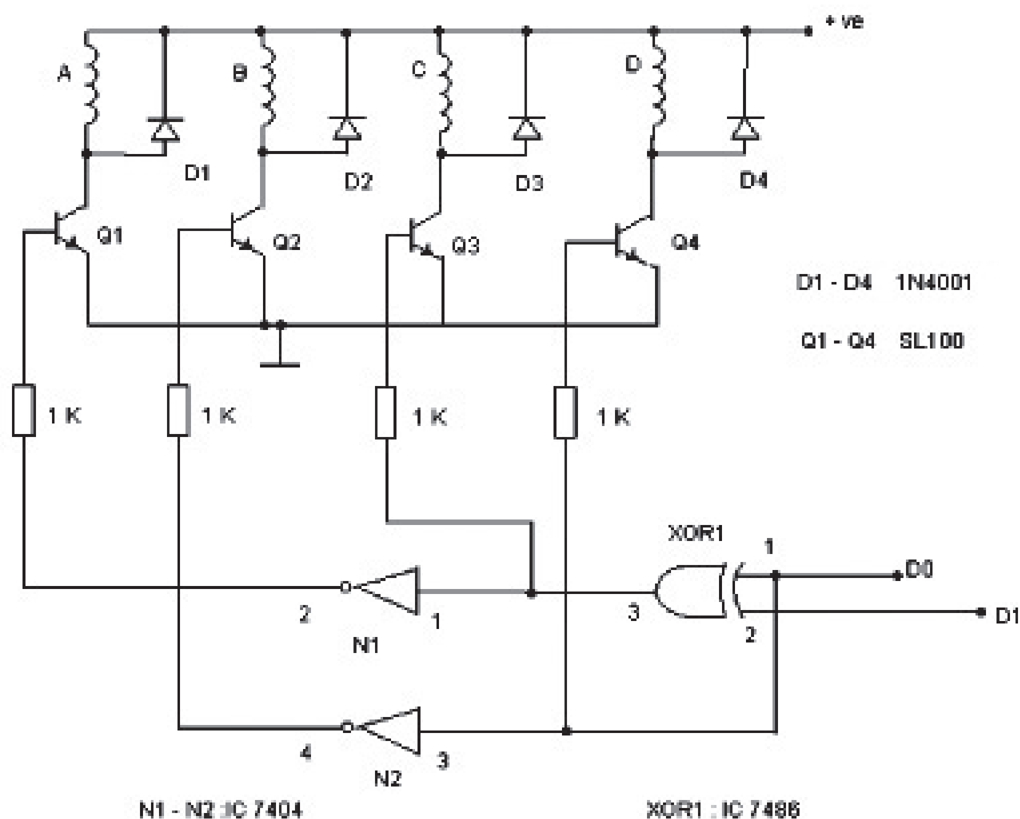
يبين الشكل التالي دارة لتحويل الإشارة التماثلية إلى رقمية باستخدام الرقاقة (ADC0808) التي تخرج 8 خانات ولها خطوط بيانات (D0-D7). وتعمل هذه الرقاقة حسب التقريب التتابعي (Successive Approximation). يتم اختيار أحد المداخل عن طريق خطوط الاختيار (A,B,C). وفي هذا المثال تم اختيار المدخل IN_0 عن طريق تأريض خطوط الاختيار (A,B,C). يتم عادة ربط إشارات التحكم EOC (نهاية التحويل) (البدء في التحويل) ALE ، SC (تمكين العناوين) و OE (تمكين الخرج) مع معالج دقيق. ولكن في هذا المثال تعمل الدارة على إشارة دخل متصلة دون الحاجة إلى استخدام المعالج الدقيق. ولذلك يتم ربط الأطراف ALE و OE بمصدر التغذية (+5 V). أما طرف إشارة التحكم في الدخل SC فيتم وصله مع الطرف EOC للبدء في عملية التحويل.

عندما تبدأ عملية التحويل فإن إشارة EOC تصبح في وضع (عالٍ). وبعد النبضة التالية تصبح EOC في وضع (منخفض) وبالتالي يتم تمكين الطرف SC للبدء في عملية التحويل التالية. وبالتالي فإن هذه الدارة تزودنا بمخرج يتكون من 8 خانات يناظر القيم الخطية لإشارة الدخل. يجب أن يتم معالجة إشارة الدخل بحيث يكون إتساعها على الأكثر يساوي (+5 V)، أي قيمة التغذية للرقاقة.

لتعمل هذه الرقاقة بشكل صحيح ، يكون تردد الساعة حوالي (550KHz) يتم الحصول عليه باستخدام مذبذب متعدد الاهتزازات باستخدام الرقاقة (7404) . ويتم إظهار المخرج باستخدام الثنائيات (LED1-LED8) . بحيث يناظر كل ثنائي خطاً من الخطوط (D0-D7) .

٦- دارة تحكم بمحرك الخطوة:

تستخدم الدارة المبينة في الشكل أعلاه للتحكم بمحرك خطوة أحادي القطبية له أربعة ملفات . ويمكن استخدام هذه الدارة للتحكم بمحرك يسحب تياراً مقداره (500mA) كحد أعلى لكل لفة مع استخدام مبدد حراري للترانز ستورات (SL100) . ويمكن استخدام ترانز ستور القدرة (2N3055) لتحمل تيارات أعلى بحيث يعمل مع الترانز ستور (SL100) كدارة دارلنجتون . تستخدم الثنائيات لحماية الترانز ستورات من التيارات العابرة .



وتتم عملية تشغيل المحركات بالتسلسل التالي :

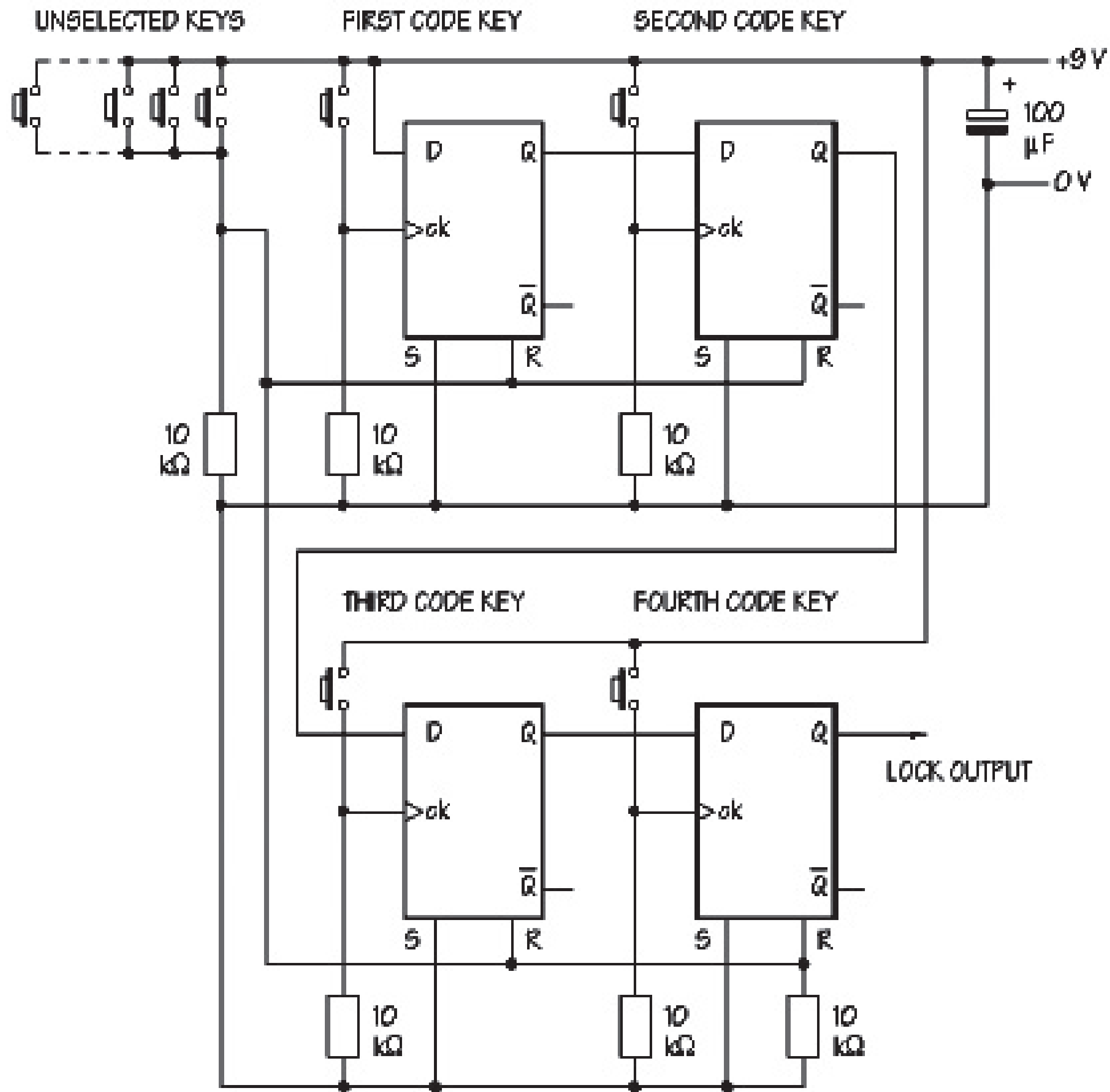
الملفات التي يتم تشغيلها	المداخل	
	D0	D1
A,B	0	0
B,C	0	1
C,D	1	0
D,A	1	1

ولعكس دوران المحرك يتم عكس التسلسل المبين في الجدول أعلاه، أي (11,10,01,00).

كذلك يمكن استخدام عداد ذي خانتين (UP/DOWN) للتحكم في اتجاه الدوران. ومذبذب 555 للتحكم في السرعة.

٧-دارة قفل باستخدام نطاط D:

يمكن استخدام النطاط D بسهولة لعمل دارة قفل (Combinational lock). ويتم ذلك باستخدام رقاقتين (4013). الدارة التالية تبين قفلاً من 4 خانات حيث يجب أن يتم الضغط على المفاتيح بالترتيب الصحيح. وعند الضغط على أي مفتاح آخر غير المفاتيح الأربعة، فإن ذلك سيؤدي إلى إطفاء النطاطات وعدم تشغيل القفل.



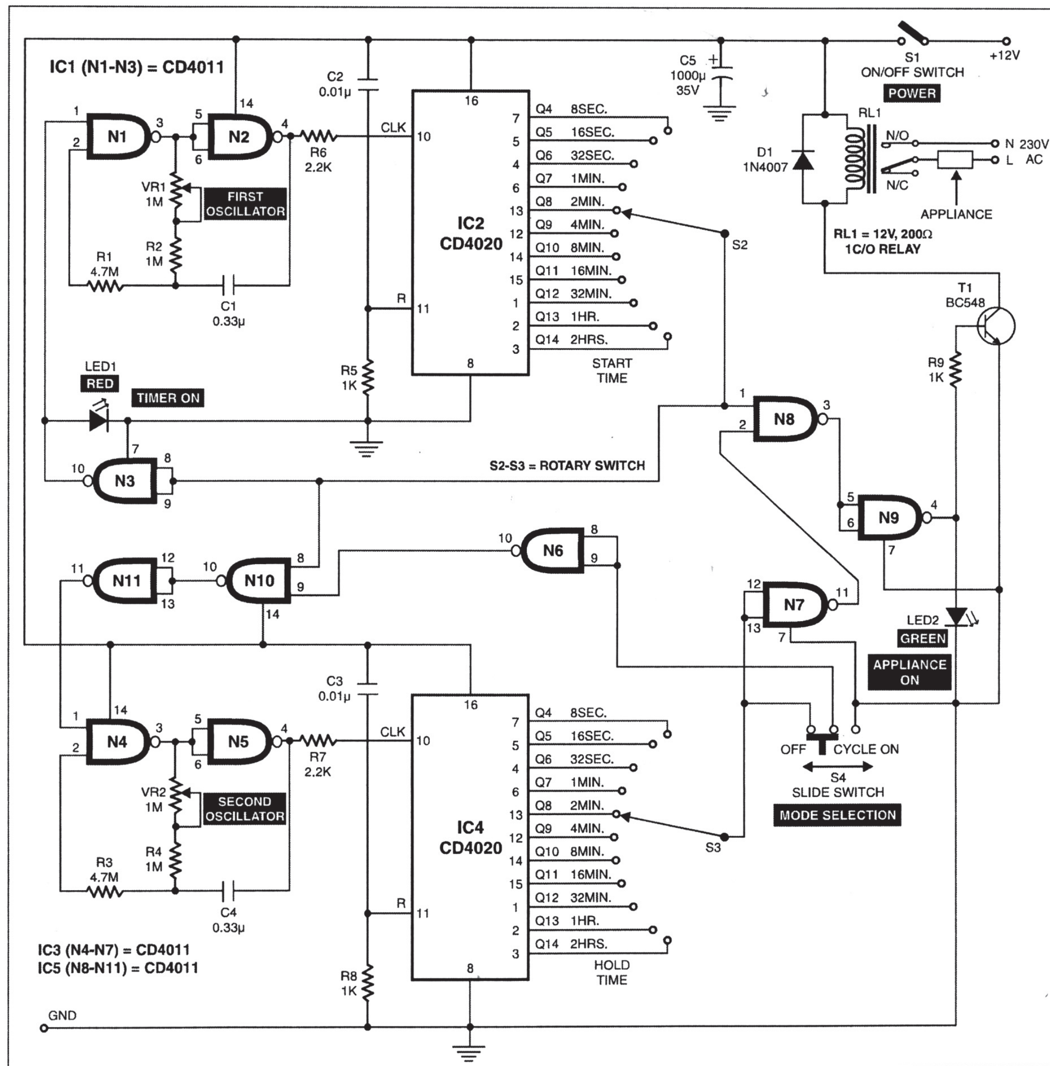
يكون مدخل النطاط الأول موصولاً مع مصدر التغذية (أي في وضع عالٍ (H)). عند الضغط على المفتاح الأول يصبح مخرجه عالياً (H). وعند الضغط على المفتاح الثاني يصبح مخرج النطاط الثاني عالياً وهكذا.

إذا تم الضغط على أي من المفاتيح الأخرى فإن مخرج النطاطات الأربعة يصبح في وضع منخفض (L).

فقط عند الضغط على المفاتيح بالترتيب الصحيح يعمل القفل . يمكن استخدام مؤقت زمني يعمل تأخيراً مناسباً بحيث يرجع وضع القفل إلى حالة الإغلاق .

٨- دارة مؤقت مبرمج للتحكم بالأجهزة:

يبين الشكل التالي دارة مؤقت مبرمج يفيد في التطبيقات المنزلية والصناعية والتجارية وغيرها . بحيث يقوم . بصورة أتوماتيكية بتشغيل الجهاز وإطفائه بعد وقت محدد مسبقاً . تتراوح المدة الزمنية بين 8 ثوانٍ إلى ساعتين ، ويتم تحديدها عن طريق المفتاحين S2 و S3 .



تعمل هذه الدارة بطريقتين : في الطريقة الأولى يتم تشغيل الجهاز بعد فترة محددة يتم تحديدها بواسطة المفتاح S2 ويبقى الجهاز في حالة التشغيل لمدة يتم تحديدها بواسطة المفتاح S3 وبعد ذلك تتم عملية إطفاء الجهاز . أما في الطريقة الثانية فيتم تكرار عملية التشغيل والإطفاء بشكل دوري .

تتكون هذه الدارة من بوابات (لا/ و) ذات مدخلين (الرقاقة CD4011 = IC1, IC3, IC5 في الشكل). بالإضافة إلى عدادين ثنائيين ذي 14 خانة (الرقاقة IC4 ، IC2). والترانزستور T1 الذي يشغل المرحل. تتم تغذية الدارة عن طريق مصدر تغذية مستمرة يعطي 500,12V ميلي أمبير. لنفرض أننا نريد تشغيل جهاز بعد دقيقتين وأن يبقى في وضع التشغيل لمدة دقيقتين أيضاً. لذا نضع المفتاح الدوار S2 والمفتاح الدوار S3 على الوضع المبين في الشكل. في البداية عند إغلاق المفتاح S1 فإنه يتم شحن المكثف C2 والمكثف C3؛ مما يؤدي إلى تصغير العدادين IC2 وIC4 لتصبح جميع مخارجهما في وضع منخفض (من Q4 -Q14).

وبما أن مخارج العدادات في وضع منخفض، فإن مخرج بوابة (لا/ و) رقم N3 يصبح في وضع عالٍ (H) وبالتالي يشغل المذبذب الأول المكون من بوابة (لا/ و) N1 و N2 التي تنتج نبضة الساعة إلى الدارة IC2 بمعدل نبضة في الثانية. ويتم التأكد من أن المذبذب يعمل وأن المؤقت يعمل عن طريق إضاءة الثنائي الضوئي LED1.

خلال الدقيقتين، يكون ملامس المرحلة RL1 مفتوحاً والترانزستور T1 في حالة القطع. ويتم ذلك عن طريق الدارة المكونة من بوابات (لا/ و) N8 ، N7 و N9 وبالتالي يبقى الثنائي الضوئي LED2 مطفئاً.

يبقى المذبذب الثاني المكون من البوابات N4 و N5 مطفئاً. عن طريق البوابات N10، N6 و N11. تزود هذه البوابات بنبضات الساعة إلى الدارة IC4 بمعدل نبضة في الثانية.

بعد 128 نبضة (تقريباً دقيقتين). يصبح المخرج Q8 من الدارة IC2 عالياً بحيث يؤدي الوظائف الثلاث التالية:

١ . تعطيل عمل المذبذب الأول لأن مخرج البوابة N3 يصبح في وضع منخفض (L) من خلال المفتاح الدوار S2.

٢ . تشغيل المرحل RL1 من خلال البوابة N8 و N9 والترانزستور T1.

٣ . يجعل حالة مخرج البوابة N10 في وضع منخفض (L) لاحظ أن هذا المخرج موصول إلى مدخل البوابة N11، إذاً يصبح مخرج البوابة N11 في وضع عالٍ (H) وهو موصول إلى مدخل البوابة N4. وعليه يبدأ المذبذب الثاني بالعمل وينتج نبضات إلى العداد IC4 بمعدل نبضة في الثانية.

وبعد 128 نبضة تقريباً دقيقتين يصبح المخرج Q8 من الدارة IC4 في وضع عالٍ (H).

مما يؤدي إلى إطفاء المرحل عن طريق البوابة N9، N7 والترانزستور T1، شريطة أن يكون المفتاح S4 كما في الشكل (off) وكذلك فإن المخرج Q8 في الوضع (H) يعطل المذبذب الثاني وبالتالي العداد IC4.

وهكذا فإن المرحل يبقى مغلقاً لمدة دقيقتين.

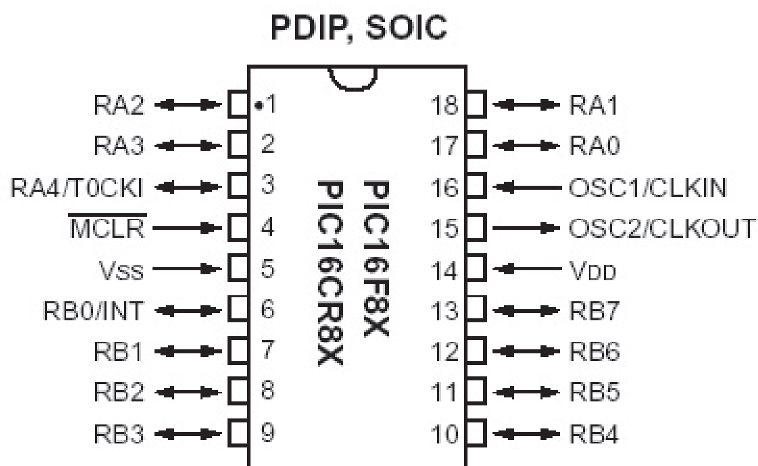
في حالة وضع المفتاح S4 على الوضع (Cycle on). فإن نبضات الساعة تستمر على العداد IC4 وبالتالي يتم تشغيل المرحل وإطفائه كل دقيقتين، وتبقى الدارة في هذا الوضع إلى أن يتم فتح المفتاح S1 وإغلاقه أو يتم وضع المفتاح S4 على الوضع Off.

وكما بيّنا فإن المفتاح الدوار S2 يحدد وقت البدء في التشغيل والمفتاح الدوار S3 لتحديد فترة التشغيل.

ويمكن التحكم بهذين الوقتين حتى 24 ساعة عن طريق تغيير قيمة R و C للمذبذبين.

تطبيقات المتحكم الدقيق PIC 16F84

١- دارة وماض Flasher



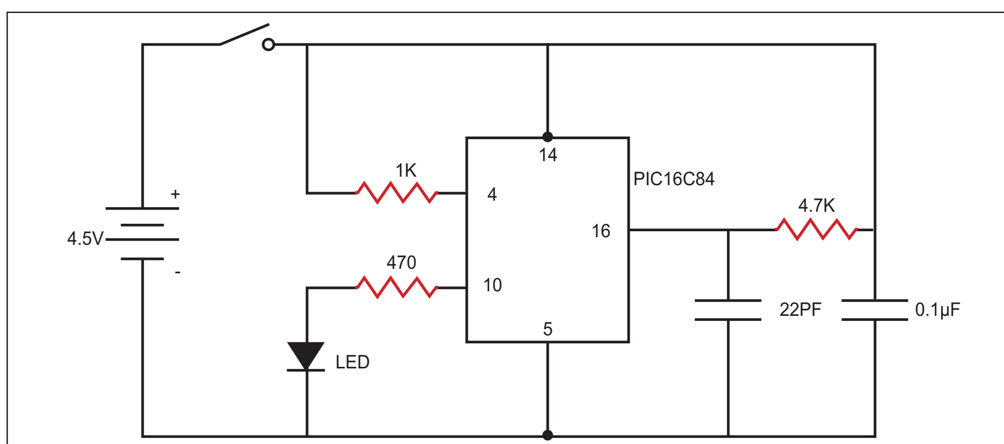
يعدّ المتحكم الدقيق 16F84 من شركة Micro chip من المتحكمات الدقيقة المستخدمة في كثير من التطبيقات بحيث يمكن برمجته بثوانٍ ولعدة مرات (حوالي ألف مرة).

وكما هوموضح في الشكل له 18 طرفاً. يستعمل 13 طرفاً. RA4- RA0 و RB7- RB0 كمداخل ومخارج. عند برمجتها كمخارج يمكن وصل ثنائي ضوئي مباشرة مع هذه المخارج لأنها تخرج تياراً مقداره 20 ميلي أمبير.

يتم توصيل الطرف VDD مع مصدر تغذية مستمر 5 فولت بينما يوصل الطرف VSS مع الأرضي. يستخدم الطرف 4 لمسح محتويات الذاكرة في هذه الرقاقة.

أما المنافذ 15، 16 فيتم استخدامها من أجل توصيل المذبذبات.

يبين الشكل التالي دارة وَمَّاض (Flasher) باستخدام المتحكم الدقيق PIC 16C84.



يتم استخدام مذبذب من نوع RC، والمخرج RB4 لتوصيل الثنائي الضوئي. ويكون البرنامج الذي يؤدي عمل الوماض مكتوباً بلغة التجميع (Assembley language) كما يلي:

```
        LIST P = 16C84:
        MOVLW 0
        TRIS  6
        OPTION
LOOP    SLEEP
        INCF   6,F
        GOTO   LOOP
        END
```

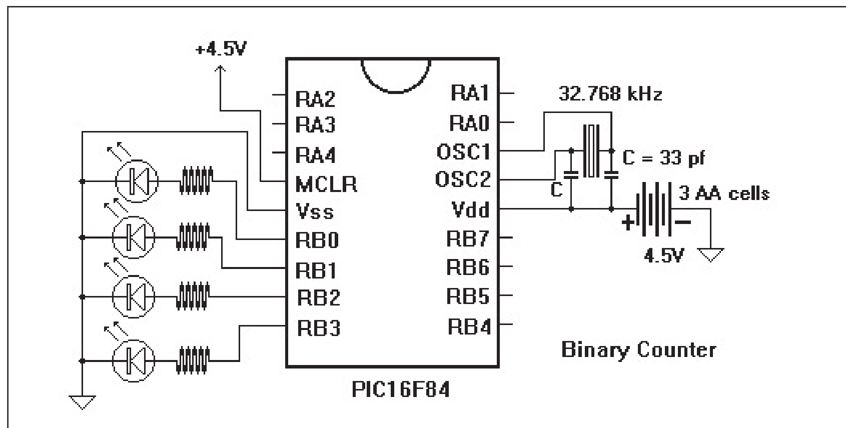
■ وتوضح هذه التعليمات عمل البرنامج :

هذه التعليمة تخبرنا عن نوع المتحكم الدقيق المستخدم	LIST
تخزين قيمة صفر في المسجل W	MOVLOW 0
ينسخ ما في المسجل W إلى المسجل الذي يتحكم في المنافذ	TRIS 6
يتم تحميل ما في المسجل W في المسجل Option	Option
الدخول في حلقة	LOOP
وضع الإيقاف لا يعمل شيئاً بانتظار التعليمة التالية	SLEEP
يزيد قيمة العدد بمقدار 1 حتى يصل إلى F	INCF
يذهب إلى العنوان المحدد	(LOOP) GOTO
تحدد نهاية البرنامج	END

يستخدم هذا البرنامج المؤقت الموجود داخل هذه الرقاقة ، لإطفاء الثنائي وتشغيله الضوئي وذلك عند طريق تفعيل التعليمة SLEEP . وبالتالي يتم زيادة المسجل B كي يتم تغيير حالة المنافذ RB0 - RB7 . وبعدها يعود إلى وضع SLEEP بانتظار التكرار التالي (next loop) .

٢- عداد ثنائي باستخدام المتحكم PIC 16 F84

يبين الشكل التالي دارة عداد ثنائي باستخدام المتحكم الدقيق PIC16F84 .



ويكون البرنامج لهذا العداد الثنائي كما يلي :

```
        CLRF  PORTB
LOOP:
        INCF   PORT B,F
        BTFSS  INTCON, TOIF
        goto  $ -1
        BCF INTCON, TOIF
        goto  loop
        end
```

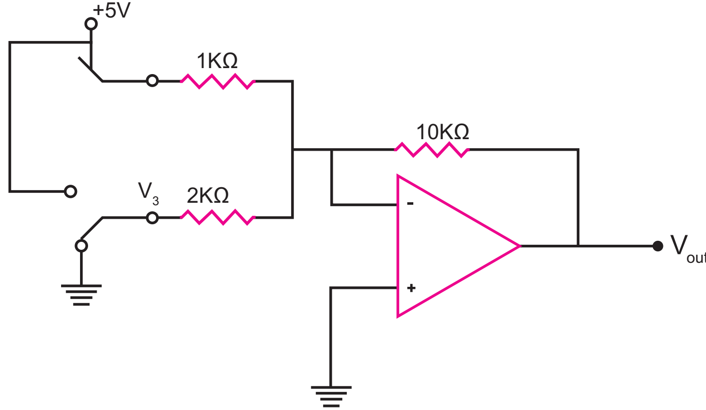
وتوضح هذه التعليمات عمل البرنامج كما يلي :

CLRF	تطفئ جميع الثنائيات الموصولة على المنافذ B0-B3 .
INCF	تضيف 1 إلى القيمة الموجودة في المسجل PORTB وتخزن الناتج في PORTB وبالتالي يبدأ العدد .
BTFSS	تفحص الخانة TOIF في المسجل INTCON إذا كانت TOIF=1 ينتقل إلى التعليمة BCF INTCON, TOIF أما إذا كانت = 0 يعود إلى التعليمة INCF .
BCF	تقوم بمسح الخانة TOIF وإعادتها إلى صفر .
goto	يعود إلى حلقة التكرار .

س١ : اذكر بعض التطبيقات التي تبرز فيها الحاجة لتحويل الإشارة التماثلية إلى رقمية .

س٢ : اشرح عمل دارة تحويل شارة الرقمية إلى تماثلية المُبيّنة في الشكل التالي :

وأوجد قيمة Vout إذا كانت Rf = 10k: R = 1k؟



س٣ : ارسم دارة تحويل الإشارة التماثلية واشرح عملها .

س٤ : عدّد أنواع الذاكرة المستخدمة في المتحكم الدقيق .

س٥ : ما الفرق بين المعالج الدقيق والمتحكم الدقيق؟

س٦ : عدّد مكونات المتحكم الدقيق مع شرح بسيط لكل منها .

س٧ : ارسم باستخدام النطاطات D دارة مخرج المتحكم؟ وبيّن طريقة عملها .

س٨ : عدّد أهم المتطلبات اللازمة لبرمجة المتحكم الدقيق .

س٩ : عدّد بعض التطبيقات للمتحكم الدقيق .

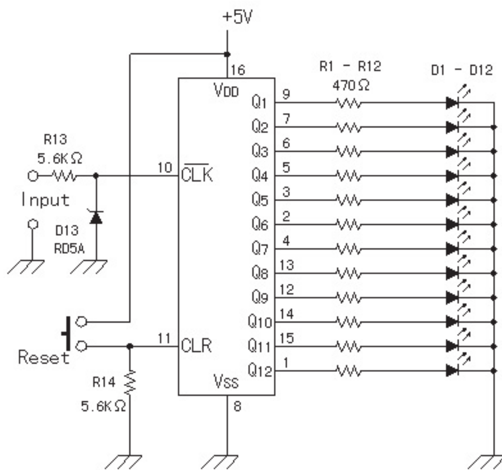
س١٠ : يبيّن الشكل التالي دارة عدّاد ثنائي . بعد دراسة الدارة أجب عن الأسئلة التالية :

أ) ما هي وظيفة ثنائي الزينر؟

ب) اكتب الأعداد الثنائية عند النبضات 815 .

ج) حدّد زمن النبضة لهذا العدّاد .

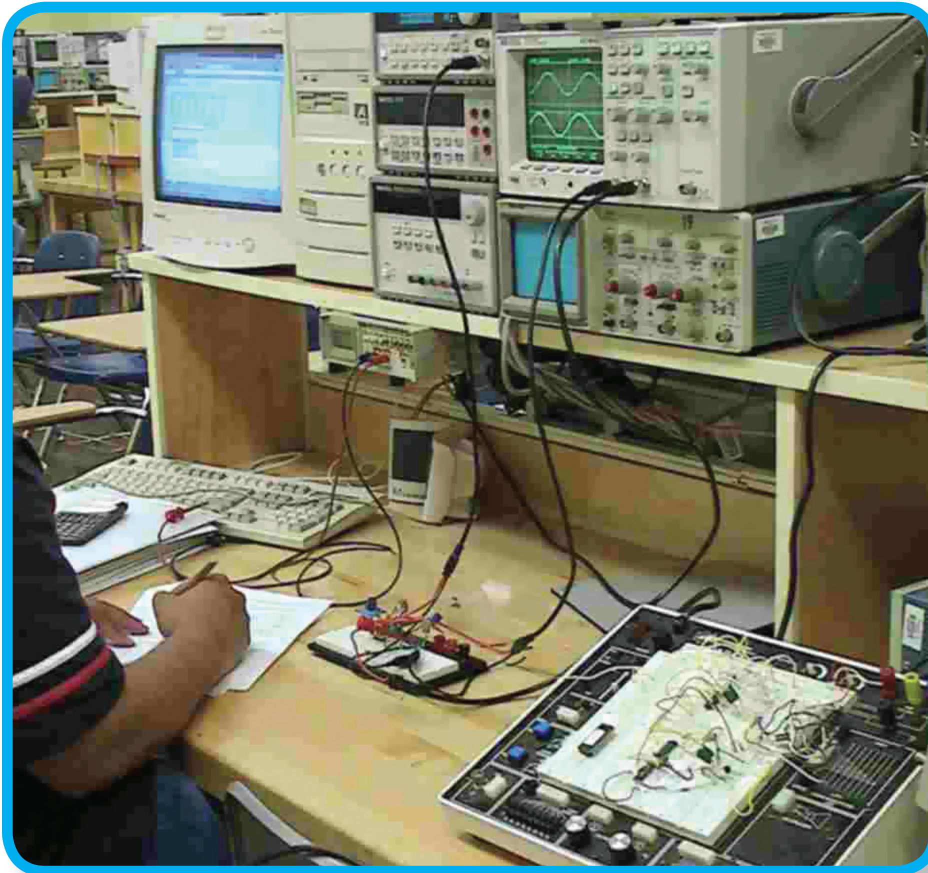
د) كيف يمكن تحويل هذه الدارة لإظهار الأرقام عشرياً .



س١١ : أرسم دارة مذبذب موجة مربعة باستخدام الرقاقة (4069UB CMOS) واشرح مبدأ عملها .

الوحدة

٣ الإلكترونيات الضوئية



الإلكترونيات الضوئية

مع تطور علم الإلكترونيات تم تصنيع الكثير من العناصر الإلكترونية التي تعمل بالضوء، وبهذا أصبح الضوء أحد العناصر الرئيسية لكثير من التطبيقات العملية، ومن ميزات الدارات الإلكترونية التي تعمل بالضوء سهولة في البناء والتشغيل ودقة أكثر في عمليات التحكم في كثير من التطبيقات بالإضافة إلى التكلفة القليلة .

الضـــوء:

إن كل الخواص المعروفة للضوء تم تحديدها بدلالة تجارب مخبرية ، مثل انتشار الضوء بخطوط مستقيمة وانعكاسه وانكساره ، وانبعاثه من المصادر الضوئية .

والضرورة هنا تقتضي وجوب بيان مسألتين على درجة الأهمية تتعلق بالإجابة عن الاستفسار الجوهري هنا وهو : هل يمتلك الضوء طبيعة موجية أم طبيعة كمية (جسمية) ؟

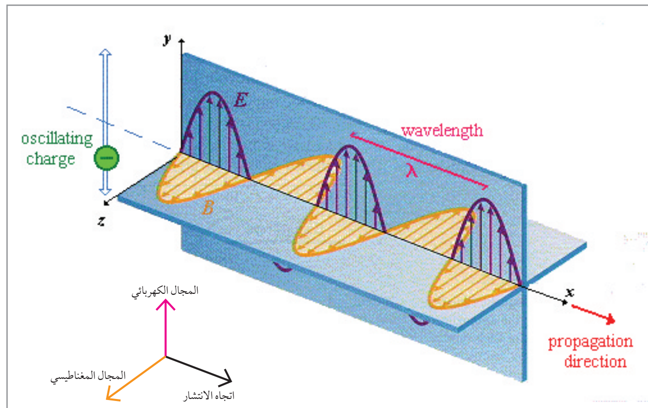
وحقيقة الأمر أن للضوء طبيعة موجية وأخرى كمية تظهر كل منهما أثناء التجارب العملية ، أي أن الضوء يمتلك هاتين الطبيعتين معاً .

١- النظرية الضوئية Light Wave Theory

لقد فسرت هذه النظرية كثيراً من الظواهر الهامة كالحيود والتداخل وفي مثل هذه الظروف يظهر الضوء على شكل موجات .

٢- النظرية الكمية Light quantum Theory

فسرت هذه النظرية كثيراً من الظواهر ذات الأهمية التي لا تقل عن الظواهر التي فسرتها النظرية الضوئية مثل انبعاث الضوء من الذرات والظاهرة الكهروضوئية التي فيها انبعاث الإلكترونات من سطح موصل عندما تسقط عليه أشعة ضوئية، على أساس أن الضوء ينبعث من المصدر على شكل دفعات من الطاقة سميت بالفوتونات .



شكل (١) الأمواج الكهرومغناطيسية

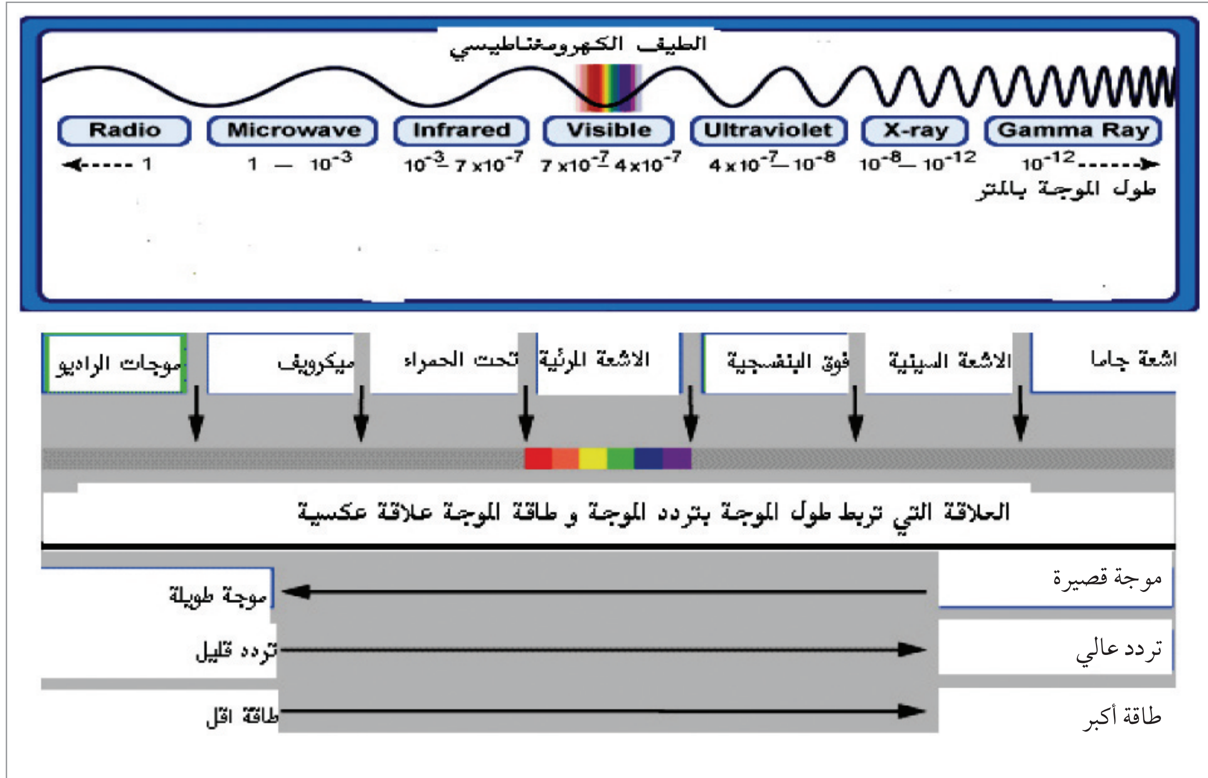
١- الطيف المرئي:

لقد أثبت العالم ماكسويل أن الضوء المرئي (الطيف المرئي) هو جزء من الأمواج

الكهرومغناطيسية التي تتكون من مجالين أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي وكلا المجالان متعامدان ويتذبذبان بزوايا عمودية على اتجاه حركة الموجة وينتشران في الفضاء بسرعة ثابتة (الموجة المستوية)، انظر شكل (١) .

٢- طيف الأمواج الكهرومغناطيسية Electromagnetic Spectrum

يوضح الشكل (٢) طيف الأمواج الكهرومغناطيسية، ويتبين أن نهايتي هذا الطيف ليستا مغلقتان، وهذه إشارة إلى أن الموجات الكهرومغناطيسية ليس لها نهاية قصوى أو صغرى ، إن بعض أجزاء هذا الطيف قد وضع عليه أسماء بعض الأمواج المشهورة مثل أشعة جاما Gamma Ray وأشعة إكس X-ray والأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Rays والأشعة المرئية Visible light Rays والأشعة تحت الحمراء Infrared Rays والأمواج المايكروية (الدقيقة) Microwave Rays والأشعة الراديوية Radio Wave Rays والأشعة الكونية Cosmic Rays، وغير ذلك، وهي تمثل المدى الموجي الذي يمكننا أن نحصل من خلاله على مثل تلك الأمواج .



شكل (٢)

وكل الموجات السابقة تنتشر في الفراغ بنفس السرعة وتختلف فيما بينها في التردد (طول الموجة) . وذلك حسب العلاقة التالية :

سرعة الضوء(الموجة) = طول الموجة x ترددها

$$C = f \times \lambda \quad \text{.................... 1}$$

و ترتبط طاقة الفوتون بطول الموجة بالعلاقة التالية :

طاقة الفوتون = (ثابت ×سرعة الضوء) ÷ طول الموجة

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad ....2$$

حيث :

h : ثابت بلانك ويساوي 4.136×10^{-15} (إلكترون فولت . ثانية).

λ : طول الموجة (بالمتر) .

c : سرعة الضوء (متر/ ثانية).

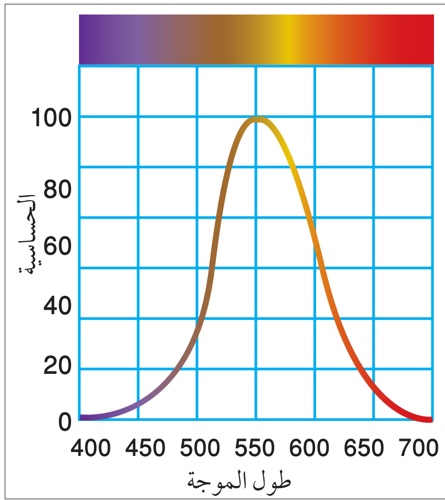
وتبلغ سرعة انتشار الضوء في الفراغ 300000 كيلومتر في الثانية (3×10^{8} م/ ثانية)

ويلاحظ من العلاقة (2) أن طاقة الفوتون تتناسب تناسباً عكسياً مع طول الموجة لاحظ الشكل (٢)

ويلاحظ من العلاقتين (1) و(2) أن طول الموجة يتناسب عكسياً مع كل من ترددها وطاقتها، فالموجة القصيرة ترددها عالٍ وطاقتها أكبر، بينما الموجة الطويلة ترددها قليل وطاقتها أقل، كما هو موضح في الشكل (٢).

الأشعة المرئية: هي الإشعاعات التي تستطيع العين البشرية تمييزها وتبدأ بالضوء البنفسجي بطول موجي 400 نانومتر (7.5×10^{14}Hz) وتنتهي بالضوء الأحمر بطول موجي 700 نانومتر (4.28×10^{14}Hz) .

وتبدي العين البشرية استجابة أكثر لألوان الطيف كلما اتجهنا من الأطراف إلى الداخل، وتكون أعلى استجابة للعين البشرية عند اللون الأخضر ذي الطول الموجي 546 نانومتر، ويوضح الشكل (٣) العلاقة بين مقدار استجابة العين وطول الموجة .



شكل (٣):

أما بالنسبة للموجات المحاذية لمدى الأشعة المرئية وهما الأشعة فوق البنفسجية ذات التردد العالي والأشعة تحت الحمراء ذات التردد الأقل . فإن الإنسان لا يستطيع رؤيتهما ولكن باستطاعته تحسس الأشعة تحت الحمراء كحرارة، وتوجد هناك كاميرا تعمل على تحويل الأشعة تحت الحمراء إلى أشعة مرئية تسمى أجهزة الرؤية الليلية حيث تعمل على تتبع الأشعة تحت الحمراء التي تشع من الأجسام، أما بالنسبة للأشعة فوق البنفسجية فإن التعرض لها لفترة طويلة تسبب حروقاً في الجلد وقد تسبب سرطان الجلد .

٣- الأثر الكهربائي للضوء في أشباه الموصلات:

يكمن تفسير أثر الضوء على المواد شبه الموصلة في إحدى الظاهرتين التاليتين :

١- الظاهرة الكهروضوئية (Photoelectric Effect)

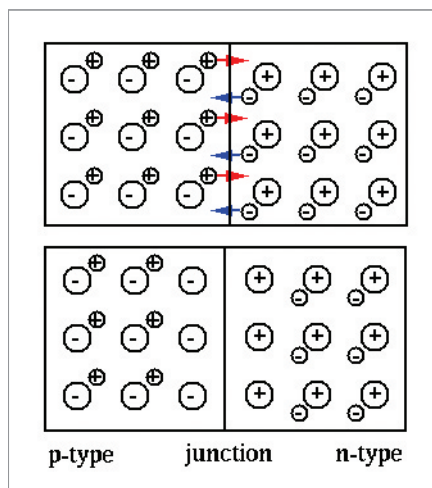
عند تعريض مادة شبه موصلة لحزمة ضوئية فإن جزءاً من الفوتونات يتشتت ، في حين أن جزءاً آخر سوف يصطدم مع إلكترونات المادة، وتنتقل طاقته لها؛ مما يؤدي إلى رفع طاقة الإلكترونات، فبعضها ينتقل إلى مدار

أعلى (مدار التكافؤ) حيث ينتقل الإلكترون من مستوى طاقة منخفض إلى مستوى طاقة أعلى وأخرى تكون في مدار التكافؤ فتفلت من المدار، ويصبح الإلكترون حر الحركة ويترك مكانه فارغاً (فجوة Hole). وبذلك يولد في المادة شبه الموصلة زوج من حاملات الشحنة(فجوة-إلكترون) وبما أن حاملات الشحنة تزداد مع كثافة الضوء الساقط فإن موصلية المادة شبه الموصلة تزداد. فالظاهرة الكهروضوئية تعني «**زيادة موصلية المواد شبة الموصلة نتيجة تعرضها للضوء**».

٢- ظاهرة التأثير الكهربائي الضوئي (Photovoltaic Effect):

تتضح هذه الظاهرة من خلال النقاط التالية:

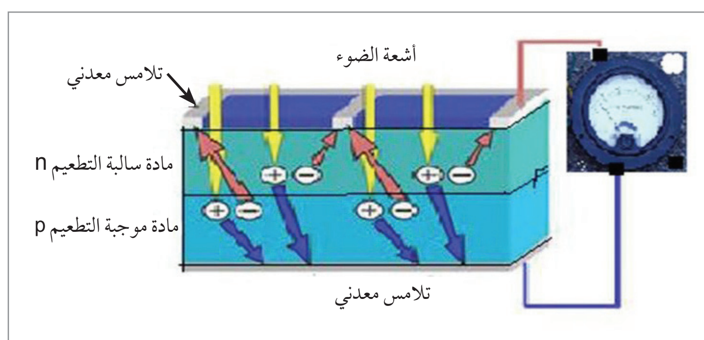
- عند وجود الوصلة (p-n) في دارة مفتوحة وضمن منطقة مظلمة، فإن جهد الوصلة ينتظم بحيث أن عدداً متساوياً من حاملات الشحنة الأقلية وحاملات الشحنة الأغلبية تعبر الوصلة في اتجاهين متعاكسين لعدم إمكانية مرور تيار بدارة الوصلة المفتوحة لاحظ شكل (٤).



شكل (٤):

- عندما تكون الوصلة (p-n) منحازة عكسياً فإن تيار التسريب العكسي يكون ثابت القيمة تقريباً، ولا يعتمد على جهد الانحياز العكسي، وهو ناتج أساساً من تفكك الروابط التساهمية للذرات بتأثير الحرارة ويطلق على هذا التيار تيار الظلام (Dark current) أو (تيار التسريب العكسي).

- عندما تصطدم فوتونات الضوء بشريحة (p-n) فإن الطاقة الممتصة من هذه الفوتونات تسبب انفلات بعض إلكترونات مدار التكافؤ مولدة أزواجاً من الإلكترونات والفجوات (Electron–hole pair) في كل من جزئي الشريحة، فتزداد عدد حاملات الشحنة الأكثرية والأقلية بنفس العدد، وبذلك تكون نسبة الزيادة أكثر على حاملات الشحنة الأقلية ولكون الوصلة في حالة انحياز عكسي فإن تيار التسرب العكسي يزداد، وإذا كانت الوصلة في دارة مفتوحة فإن قوة دافعة كهربائية تتولد على أطراف الوصلة كما في الشكل (٥).



شكل (٥):

- يمكن إهمال الزيادة في حاملات الشحنة الأغلبية واعتبار الشعاع الضوئي الساقط على سطح الوصلة (p-n) حاقناً لحاملات الشحنة الأقلية لأن تركيز حاملات الشحنة الأغلبية يفوق تركيز حاملات الشحنة الأقلية وأن النسبة المئوية لزيادة حاملات الشحنة الأغلبية تكون أقل بكثير من النسبة المئوية لزيادة حاملات الشحنة الأقلية.

بالاعتماد على هاتين الظاهرتين تم بناء العديد من العناصر الإلكترونية الضوئية التي سيتم شرح بعضها في هذه الوحدة.

المقاومة الضوئية (Photo Resistor) LDR

المقاومة الضوئية هي مقاومة تتغير قيمتها تبعاً لتغيرات كثافة الضوء الساقط على سطحها، وتتناسب قيمتها تناسبا عكسياً مع شدة الإضاءة، حيث تتناقص قيمتها عند تعرضها للضوء، ويمكن تفسير ذلك بالاعتماد على الظاهرة الكهروضوئية.

تركيب المقاومة الضوئية: تصنع المقاومة الضوئية من مادة شبه موصلة حساسة للضوء تطلى بشكل متعرج (لزيادة سطح المقاومة المعرض للضوء) على قاعدة عازلة وتغلف بغلاف شفاف يسمح بمرور الضوء ويتصل طرفا المادة شبه الموصلة بتلامسين معدنيين يشكلان أطراف التوصيل الخارجية للمقاومة الضوئية كما في الشكل(٦).



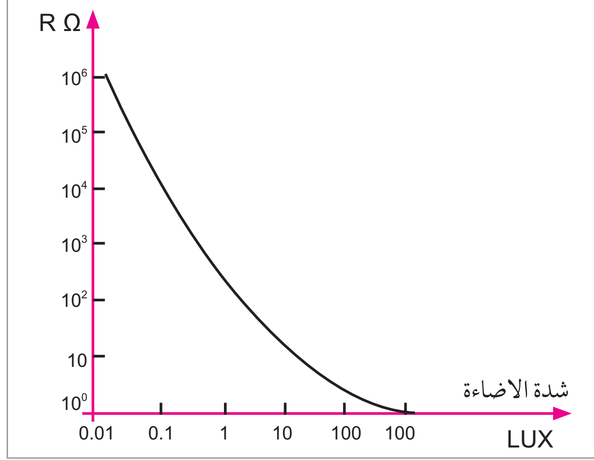
شكل (٦):

يرمز للمقاومة الضوئية بالرمز المبين في الشكل (٦) وتعرف في التطبيقات العملية بمسميات مختلفة كالخلية الكهروضوئية (Photo Electric Cell)، والموصل الضوئي (Photo Conductor)، والمقاومة المعتمدة على الضوء (Light Dependent Resistor 'LDR') وتعدّ الأخيرة الأكثر شيوعا. المقاومة الضوئية حساسة لموجات الضوء المختلفة وتعتمد حساسيتها ومدى استجابتها لنوع الأشعة على المادة التي تصنع منها المقاومة الضوئية، ومن أشهرها:

١- المقاومة المصنوعة من مادة كبريتيد الكادميوم CdS أو من بلورات الرصاص Lead Crystals التي تستجيب للطيف المرئي.

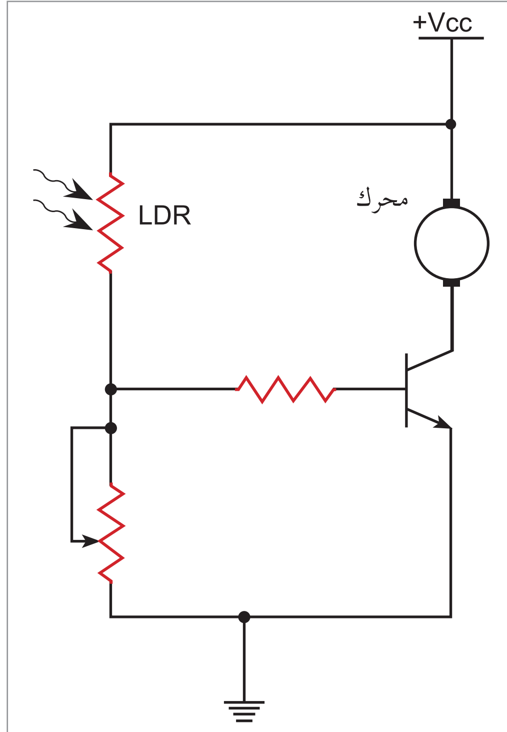
٢- المقاومة المصنوعة من بلورات سيلينايد الكادميوم التي تستجيب للأشعة الحمراء والأشعة تحت الحمراء.

٣- المقاومة المصنوعة من كبريتيد الرصاص التي تستجيب للأشعة تحت الحمراء.



شكل (٧) منحنى يبين قيمة المقاومة مع شدة الإضاءة

- تكون المقاومة الضوئية في الظلام عالية جداً، وعند سقوط الضوء عليها فإن مقاومتها تتناقص (تناسباً عكسياً مع شدة الإضاءة) حتى تصبح كأنها موصل، ولا يكون التغير بشكل خطي لاحظ الشكل (٧).
- والمقاومة الضوئية تعامل كالمقاومة العادية من حيث ظروف التشغيل الواجب مراعاتها خصوصا القدرة وكذلك من حيث الأعطال.
- من مساوئ المقاومة الضوئية أنها بطيئة الاستجابة، وتعمل فقط على ترددات منخفضة.
- تستعمل المقاومات الضوئية في كثير من التطبيقات التي تشترك جميعها في الإحساس بالضوء، ومن هذه التطبيقات أنظمة التحكم المعتمدة على وجود الضوء أو عدمه مثل: التحكم في إنارة الشوارع ليلاً، التحكم الآلي وأجهزة الإنذار (مثل الإنذار بوجود حريق، إنذار ضد السرقة).



شكل (٨)

مثال:

التحكم في سرعة محرك عن طريق الضوء.

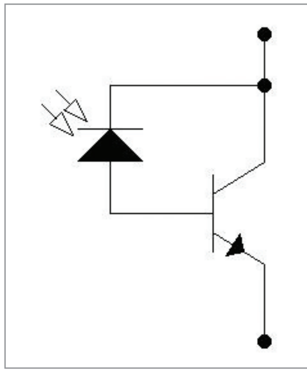
كما هو مبين في الشكل يعدّ الضوء العامل الأساسي في الدارة، حيث تتناسب قيمة المقاومة LDR مع شدة الضوء الساقط عليها تناسباً عكسياً، وتحدد المقاومة قيمة تيار القاعدة للترانزستور، أي أن قيمة تيار القاعدة في هذه الدارة تتناسب طردياً مع شدة الإضاءة (أو تحدد قيمة الجهد على المقاومة المتغيرة)، الحمل في الدارة موصول على المجمع أي يمر به تيار Ic فعندما لا يكون هناك ضوء فلا يمر تيار في قاعدة الترانزستور ولا يعمل المحرك، أي يكون فرق الجهد على المحرك يساوي صفراً، ويكون V_{CE} أعلى ما يمكن $V_{CE} = V_{CC}$، وعند توفر إضاءة ضعيفة تنخفض قيمة المقاومة الضوئية بشكل يتناسب مع شدة الإضاءة، فيمر تيار في قاعدة الترانزستور،

فينتقل الترانزستور من منطقة القطع إلى المنطقة الفعالة وينخفض الجهد V_{CE} ويرتفع الجهد على الحمل (المحرك) (ويتناسب فرق الجهد على الحمل تناسباً طردياً مع شدة الإضاءة) وتتناسب سرعة دورات المحرك مع فرق الجهد على المحرك . فكلما زادت شدة الإضاءة زادت سرعة دوران المحرك . أي أن سرعة دوران المحرك تتناسب طردياً مع شدة الإضاءة .

سؤال :

كيف يمكن عكس عمل الدارة (أي جعل سرعة دوران المحرك تتناسب عكسياً مع شدة الإضاءة) .

الثنائي الضوئي (Photodiode)

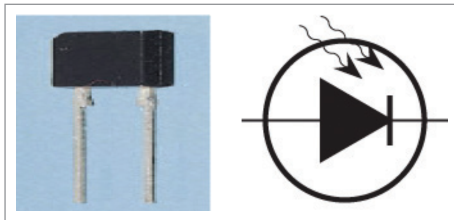


شكل (٩)

يعدّ الثنائي الضوئي أحد العناصر الضوئية ، ويعمل الثنائي على ظاهرة التأثير الكهربائي الضوئي (Photovoltaic Effect) حيث يعمل الضوء على زيادة تيار التسرب العكسي المار في الثنائي الموصول في حالة الانحياز العكسي . ويتناسب تيار التسرب العكسي طرديا مع شدة الإضاءة الساقطة عليه .

وللاستفادة من الثنائي الضوئي كمجس ضوئي يتم وصله في حالة انحياز عكسي في الدارات الإلكترونية ؛ ونظراً لصغر قيمة تيار التسريب العكسي يوصل الثنائي الضوئي مع دارة تضخيم مناسبة . مثل الترانزستور لتضخيم الإشارة الكهربائية الناتجة منه كما في الشكل (٩) .

وفي الظلام يكون تيار التسريب العكسي أقل ما يكون ، ويسمى تيار الظلام ، وهنا يعمل الثنائي الضوئي عمل الثنائي العادي .



شكل (١٠) شكل و رمز الثنائي الضوئي

و يصنع الثنائي الضوئي من السليكون أو الجرمانيوم وزرنخيد الغاليوم ، وتعتمد استجابة الثنائي الضوئي على نوع المادة ، وعلى شكل الثنائي ، ونسبة تركيز الشوائب فيه .

يشبه الثنائي الضوئي الثنائي العادي من حيث الأعطال ومحددات التشغيل كالقدرة وجهد التشغيل العكسي وطرق الفحص ، ويرمز له في الدارات الإلكترونية كما في الشكل (١٠) .

١- للثنائي الضوئي تطبيقات كتلك التي تستخدم فيها المقاومة الضوئية ، ولكن ما يميز الثنائي الضوئي هو أن استجابته للضوء تكون بشكل خطي ؛ مما يجعله مناسبا للقياسات الدقيقة المتعلقة بالضوء . ويدخل

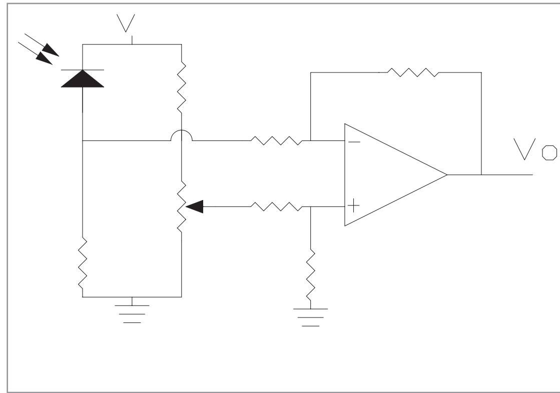
الثنائي الضوئي في كثير من التطبيقات مثل (قياس شدة الإضاءة، أجهزة الإنذار، أجهزة التحكم، وأجهزة العد . . .).

مثال :

تحويل شدة الضوء إلى فرق جهد :

باستخدام قنطرة ويتستون كما في الشكل يمكن تحويل شدة الإضاءة إلى فرق في الجهد ومن ثم إدخالها على دارة تكبير مناسبة (حسب التطبيق) ، إذا كانت الدار معتمة (لا يوجد ضوء) يكون التيار العكسي أقل ما يكون، فيعمل على تغيير قيمة المقاومة المتغيرة حتى نحصل على جهد خرج يساوي صفراً.

عند ارتفاع شدة الإضاءة يمر تيار عكسي في الثنائي الضوئي يتناسب مع شدة الإضاءة ويرتفع الجهد على المخرج . يتناسب ارتفاع الجهد على المخرج طردياً مع شدة الإضاءة وبشكل خطي .



شكل (١١)

التranزستورات الضوئية

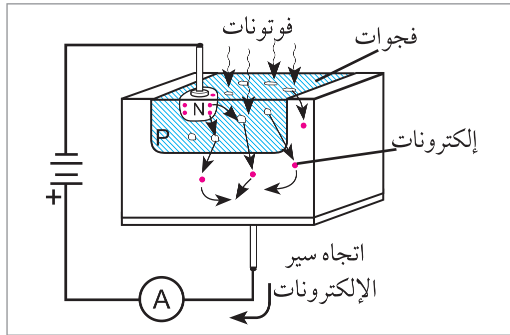
يشبه عمل الترانزستور الضوئي عمل الترانزستور العادي إلا أنه يعتمد على الظاهرة الفولتية الضوئية (Photovoltaic Effect) حيث إن قاعدة الترانزستور حساسة للضوء لاحظ شكل (١٢) حيث إن طبقة القاعدة ذات حجم كبير . ويتولد تيار القاعدة بتأثير الضوء ويتناسب مع شدة الإضاءة على السطح الحساس للضوء . ويكافئ الترانزستور الضوئي ثنائي ضوئي مع ترانزستور، كما هو موضح في الشكل (٩)، ومن ميزاته أنه سريع الاستجابة .

عند وضع الترانزستور الضوئي في الظلام يصبح في حالة قطع، ولا يمر تيار بين المجمع والباعث، وعند تعرض السطح الحساس للضوء، يتولد تيار قاعدة صغير ينتج عن ذلك تيار كبير يمر بين المجمع والباعث . كما توجد أيضا ترانزستورات تأثير المجال الضوئية التي تستخدم التأثير الضوئي في توليد جهد البوابة الذي يتحكم بتيار المصرف (Drain) – المنبع (Source) . والشكل (١٢) يوضح رمز الترانزستور الضوئي وبعض الأشكال الشائعة .



شكل (١٢) رمز الترانزستور الضوئي وبعض الأشكال الشائعة

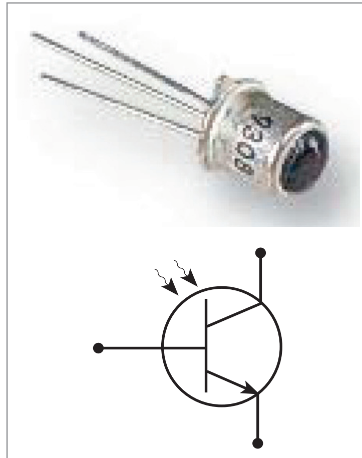
مبدأ عمل الترانزستور الضوئي:



شكل (١٣) مبدأ العمل

يبين الشكل (١٣) ترانزستوراً ضوئياً ثنائي القطبية موصولاً مع مصدر جهد على طرفيه (المجمع والباعث) ويشبه عمله عمل الترانزستور ثنائي القطبية نوع NPN العادي إلا أن طبقة القاعدة P كبيرة وعند تعرضها للضوء تصطدم فوتونات الضوء مع إلكترونات المادة P فتكسبها طاقة كافية لتتجاوز حاجز منطقة الاستنزاف لتصل إلى منطقة المجمع N وتترك مكانها أيونات موجبة سرعان ما تجذب إليها إلكترونات الباعث N، ونتيجة لذلك يتشكل تيار كهربائي يمر من المجمع إلى الباعث.

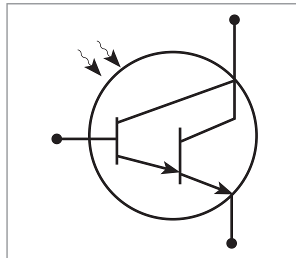
الترانزستورات الضوئية ذات الثلاثة أطراف:



شكل (١٤) الترانزستور ذو ثلاثة أطراف

الترانزستورات الضوئية ذات الطرفين حساسة للضوء، ولكن عند توفر إضاءة ضعيفة تكون غير قادرة على توليد تيار في القاعدة كافٍ للانتقال إلى التشبع (تيار مناسب). هناك ترانزستورات ذات ثلاثة أطراف، الشكل (١٤) بإضافة طرف القاعدة الذي يستخدم لتثبيت انحياز الترانزستور بحيث يُمكن من التحكم في حساسيته للضوء بشكل جيد. ويمكن أن يستخدم الترانزستور الضوئي ذو الثلاثة أطراف بدلاً من الترانزستورات الضوئية ذات الطرفين في التطبيقات باستخدام طرفين فقط بدون استخدام طرف القاعدة.

ترانزستورات دارلنجتون الضوئية:

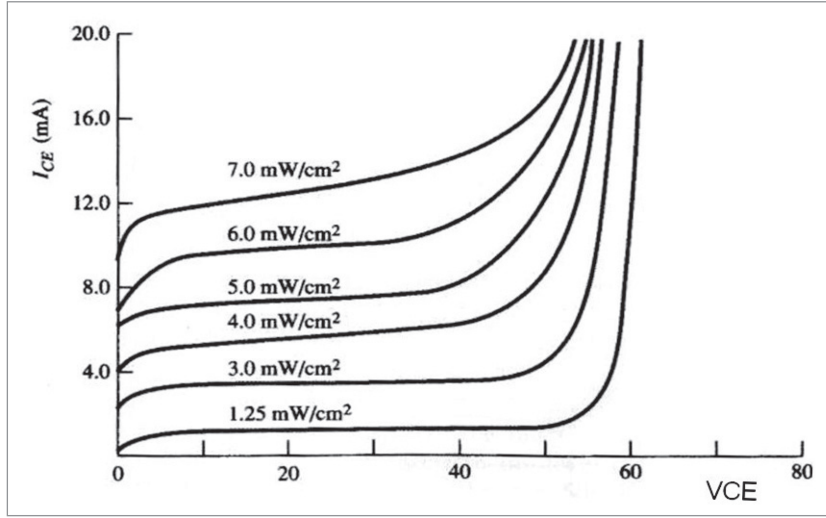


شكل (١٥) رمز ترانزستورات دارلنجتون الضوئية

يمكن توصيل ترانزستور عادي مع ترانزستور ضوئي ليستفاد من خاصية توصيلة دارلنجتون بالإضافة إلى الخاصية الضوئية بحيث تشبه آلية عمله عمل ترانزستورات دارلنجتون ثنائي القطبية بالإضافة إلى حساسيته للضوء لكن بزمن الاستجابة كبير نسبياً، وتتوفر هذه الترانزستورات برجل قاعدة أو بدونها.

المواصفات الفنية للترانزستورات الضوئية:

للترانزستورات الضوئية كما للترانزستورات العادية جهد انهيار ومعدلات جهد وتيار تشغيل ومنحنى خصائص. وكما يعتمد تيار المجمع Ic على كثافة الإشعاع الساقط على قاعدة الترانزستور وعلى كسب التيار (Gain) وعلى تيار القاعدة الخارجي في الترانزستورات الضوئية ثلاثية الأطراف.



شكل (١٦) منحنى الخصائص للترانزستور الضوئي

في حالة الظلام التام يمر تيار صغير بين المجمع والباعث يسمى تيار الظلام (Dark Current Id) ويمكن إهماله لصغره (عادة في مجال nA) يبين الشكل التالي منحنى خصائص الترانزستور الضوئي مبينا العلاقة بين شدة الإشعاع الساقط وتيار المجمع. لاحظ أنه كلما كانت شدة الإضاءة أعلى كان التيار المار أكبر.

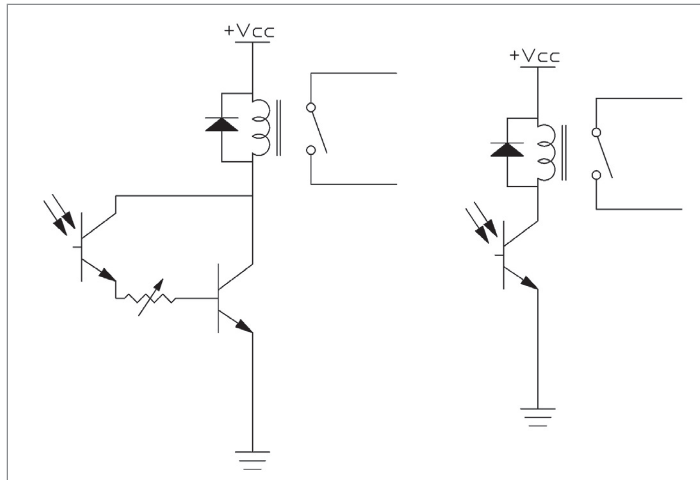
التطبيقات

ممكن أن تكون نفس التطبيقات السابقة ولكن الحساسية للضوء باستخدام الترانزستور أفضل، ويمكن استخدام الترانزستور الضوئي بشكل جيد لكشف الأشعة تحت الحمراء؛ لذلك يستخدم في أجهزة الإنذار بكثرة.

مثال ١:

تشغيل حمل كهربائي :

ممكن استخدام ترانزستور ضوئي ذي طرفين فقط، ووصله مع ترانزستور آخر توصيلة دارلجنتون (إذا لم يكن تيار الترانزستور الضوئي كافياً لتشغيل المرحل أو استخدام ترانزستور ذي ثلاثة أطراف لضبط حساسية الإضاءة الشكل (١٧).



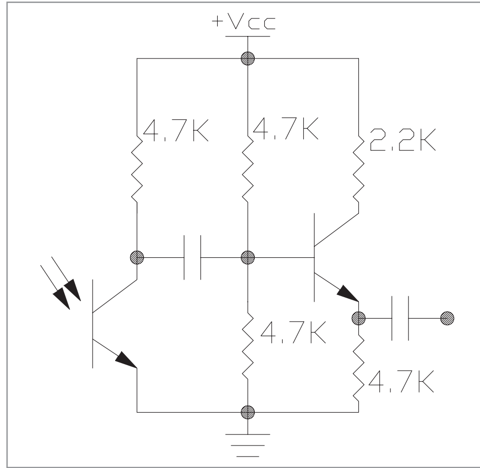
شكل (١٧)

عندما يكون الترانزستور في الظلام أو مستوى إضاءة منخفض (يُتحكم فيه عن طريق المقاومة المتغيرة) يكون الترانزستور في حالة القطع، مما يعني أن ملامسات المرحل مفتوحة (المرحل لا يعمل) . عند ارتفاع شدة الإضاءة تعمل على نقل الترانزستور إلى التشبع، ويمر تيار في ملف المرحل فيعمل ويغلق الملامسات وبهذا يعمل الحمل الكهربائي .

مثال ٢ :

دارات الاستقبال :

يمكن استخدام الترانزستور الضوئي كدارة استقبال لمرسلات ضوئية في تطبيقات التحكم عن بعد Remote control والتي يستخدم فيها غالبا الأشعة تحت الحمراء Infra Red . يبين الشكل (١٨) دارة يستخدم فيها ترانزستور ضوئي ككاشف موجة ضوئية مع مضخم ترانزستوري .

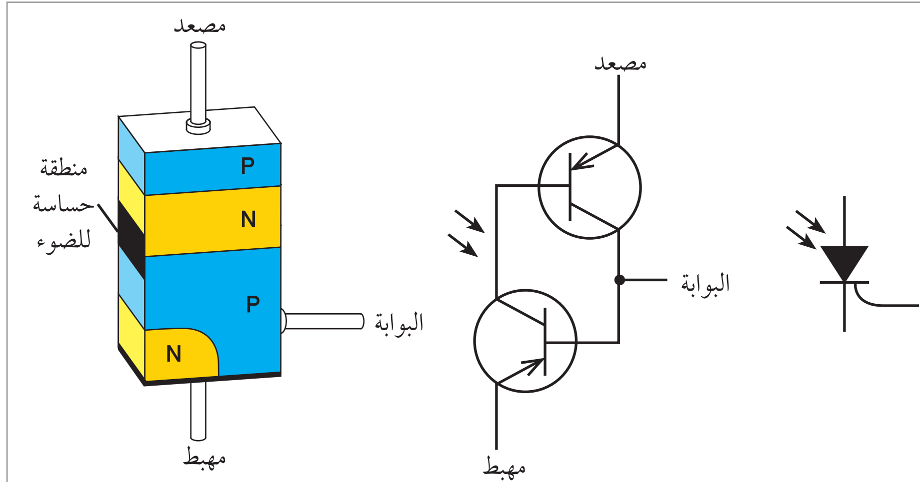


شكل (١٨)

الثايرستور الضوئي: LASCR

الثايرستور الضوئي (Light Activakd SCR) يشبه من حيث التركيب الثايرستور العادي، حيث يتم قدح الثايرستور الضوئي من خلال سقوط الضوء على البوابة بدلاً من النبضة التي تمر على بوابة الثايرستور العادي عند قدحه، ويبقى الثايرستور الضوئي في حالة تمرير حتى إذا حجب عنه الضوء ، ولإيقافه (التبديل) يعامل مثل الثايرستور العادي .

ويبين الشكل(١٩)رمز الثايرستور الضوئي والتركيب والدارة المكافئة .



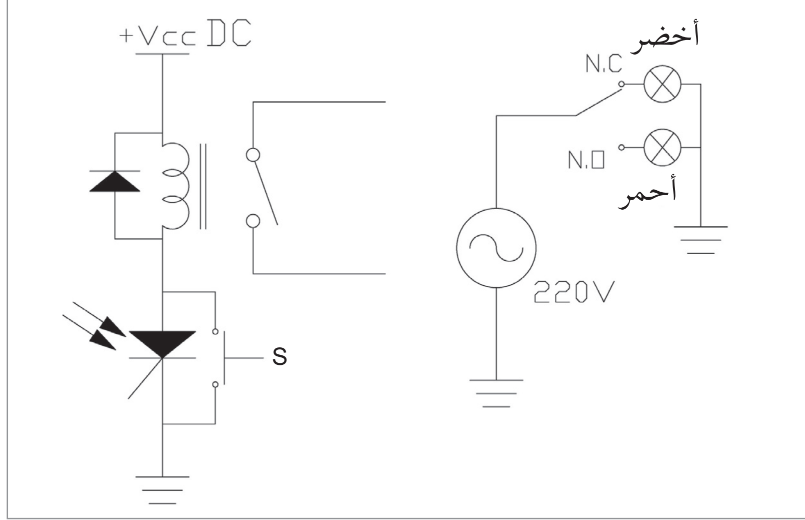
شكل (١٩) رمز الثايرستور الضوئي و الدارة المكافئة و التركيب

بعض أنواع الثايرستورات الضوئية لها طرفان فقط المصعد A والمهبط K ولكن معظم الثايرستورت الضوئية تحتوي على طرف ثالث للبوابة؛ لتوفير إمكانية قدح الثايرستور عن طريق البوابة أو التحكم بشدة الإضاءة .

التطبيقات:

يستخدم الثايرستور الضوئي في كثير من التطبيقات مثل تشغيل الأحمال التي تحتاج إلى تيار كبير، ودارات الإنذار ودارات التحكم (فتح وإغلاق باب مثلاً).

مثال :

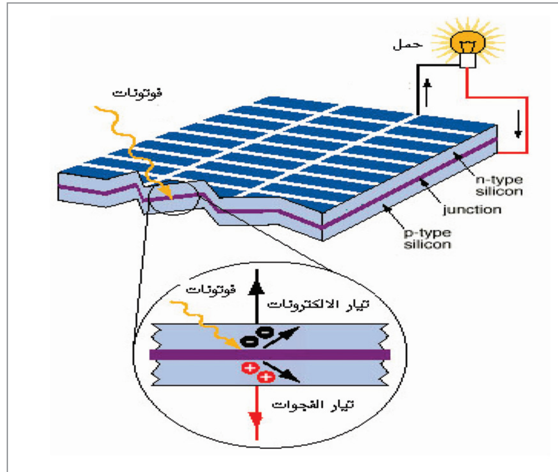


شكل (٢٠)

دارة إنذار لحدوث خلل في عمل معين. كما هو موضح في الشكل (٢٠) يوصل مصباح أحمر على ملامسات المرحل N.O ومصباح أخضر على ملامسات المرحل N.C.

في الوضع الطبيعي لا يوجد ضوء ساقط على الثايرستور الضوئي فتكون الدارة لا تعمل والمصباح الأخضر مضيء (تكون المصابيح بعيدة عن الثايرستور) عند حدوث خلل معين يسقط الضوء على الثايرستور الضوئي شكل (٢٠) مسبباً قدحه، حيث يعمل على تمرير التيار، ويعمل على عمل المرحل، فتتصل ملامساته N.O، وتنفصل ملامسات N.C؛ مما يؤدي إلى إضاءة المصباح الأحمر (أو ممكن تشغيل جرس الإنذار) وإطفاء المصباح الأخضر. عند تصليح الخلل وإنهاء حالة الإنذار يتم الضغط على المفتاح S فتعود الدارة إلى حالتها الأولى.

الخلايا الشمسية (الخلايا الضوئية) (Solar Cells):



شكل (٢١) الخلية الشمسية

تعمل الخلية الشمسية على ظاهرة التأثير الكهربائي الضوئي Photovoltaic Effect، حيث تتولد قوة دافعة كهربائية على أطراف وصلة P-N عند تعرضها للضوء، ويبين الشكل (٢١) تركيب الخلية وعملها. تشبه الخلية الضوئية الثنائي الضوئي في التركيب، وتختلف عنه في أن مساحة سطحها أكبر بكثير، حيث يعمل السطح الكبير على جعل الخلية الشمسية أكبر قدرة وأكثر حساسية للضوء.

وتعدّ طاقاتها شكلاً من أشكال الطاقة المتجددة والنظيفة . وذلك لأنه لا يسفر عن تشغيلها نفايات ملوثة ولا ضوضاء ولا إشعاعات ولا حتى تحتاج لوقود . لكن كلفتها الابتدائية مرتفعة مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى . والخلايا الشمسية تولد تياراً كهربائياً مستمراً DC . وتعتمد شدة تيارها على سطوع أشعة الشمس ومستواها وكفاءة الخلية الضوئية نفسها ومساحة سطحها .

وقد شهدت الأعوام القليلة الماضية تقدماً ملحوظاً في مجال زيادة كفاءة هذه الخلايا وقدرتها على تحويل الضوء إلى كهرباء ، التي كانت في المراحل الأولى تبلغ 1٪ ثم ارتفعت إلى 10٪ عام ١٩٧٨ ثم إلى نحو 31٪ عام ٢٠٠٢ ، مما أدى إلى تخفيض كلفة إنتاج الكهرباء .

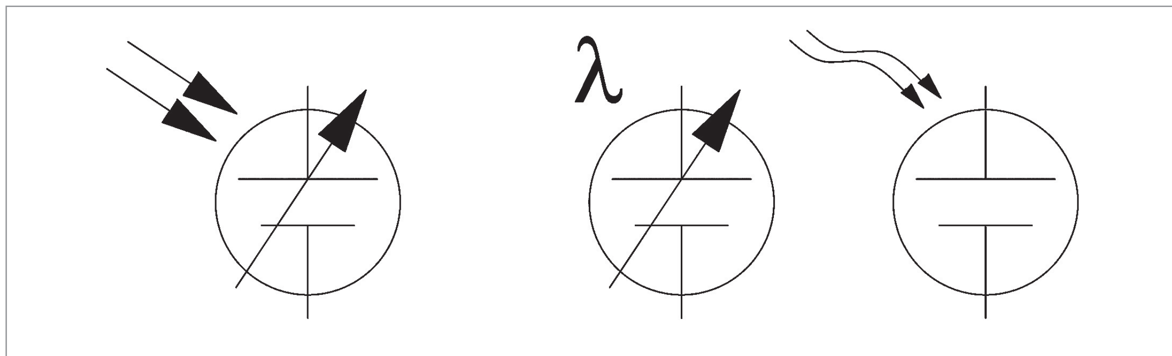


شكل (٢٢) احد استخدامات الخلية الشمسية

وتتلخص أهمية الخلايا الشمسية في أمرين : أولهما التطبيقات التي صنعت لأجلها مثل تزويد الأجهزة بالطاقة الكهربائية كالأقمار الصناعية والآلات الحاسبة والساعات وأجهزة الهاتف والإنارة في المناطق النائية . . إلخ . وثانيهما كمصدر للطاقة المتجددة . لاحظ شكل (٢٢) وممكن أيضاً استخدامها في التطبيقات التي تحتاج إلى حساسية عالية للضوء .

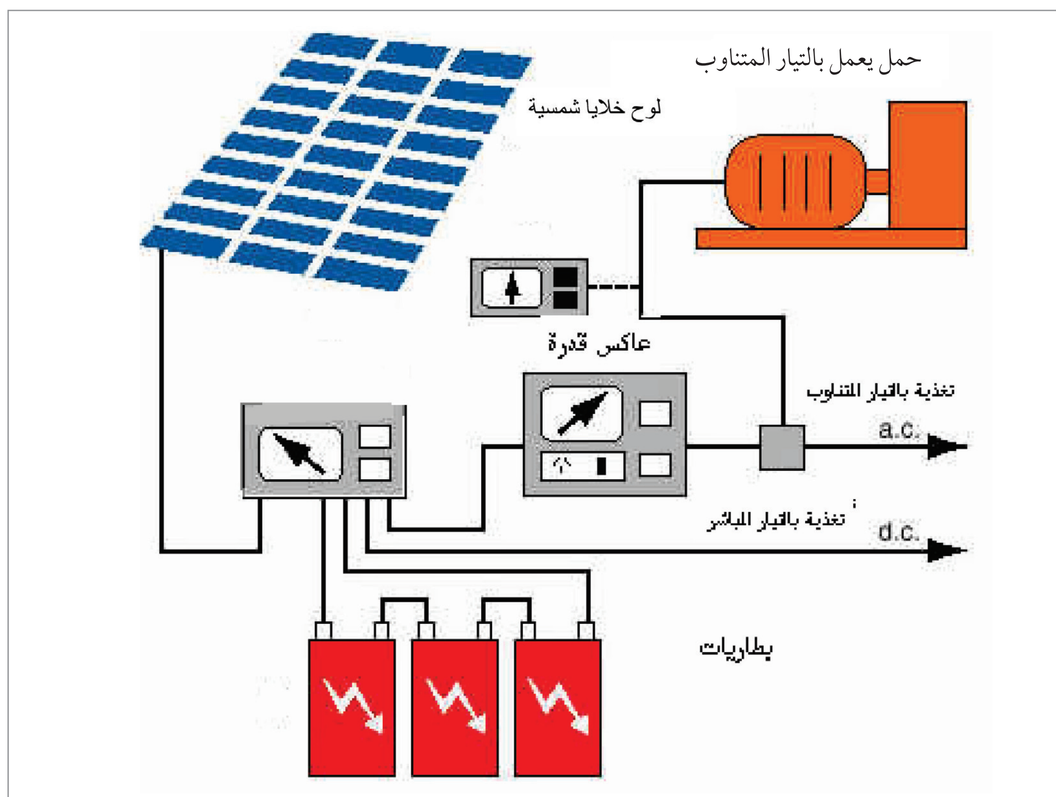
للخلية الشمسية محددان هما جهد الخلية وتيارها ، فالخلية الشمسية تعطي جهداً كهربائياً ما بين (0.5-0.54) فولت في حين تعتمد قيمة التيار على مساحة سطح الخلية ، وشدة الإضاءة الساقطة عل سطحها ، للحصول على الجهد والتيار المطلوبين يتم وصل الخلايا تماما كما في البطاريات ، فتوصل على التوالي للحصول على جهد أكبر ، وتوصل على التوازي للحصول على تيار أكبر .

تعمل الخلية الشمسية في الظلام عمل الثنائي العادي . ويبين الشكل (٢٣) رموز الخلية الضوئية .



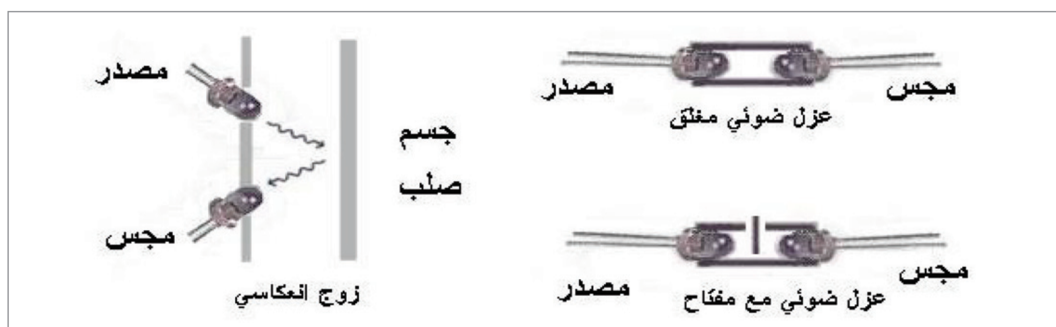
(٢٣) رموز الخلية الضوئية

مثال :



(٢٤) يبين مخطط صندوقي لنظام يعمل بالطاقة الشمسية

الربط الضوئي (وحدات العزل الضوئي) (Optocouplers):

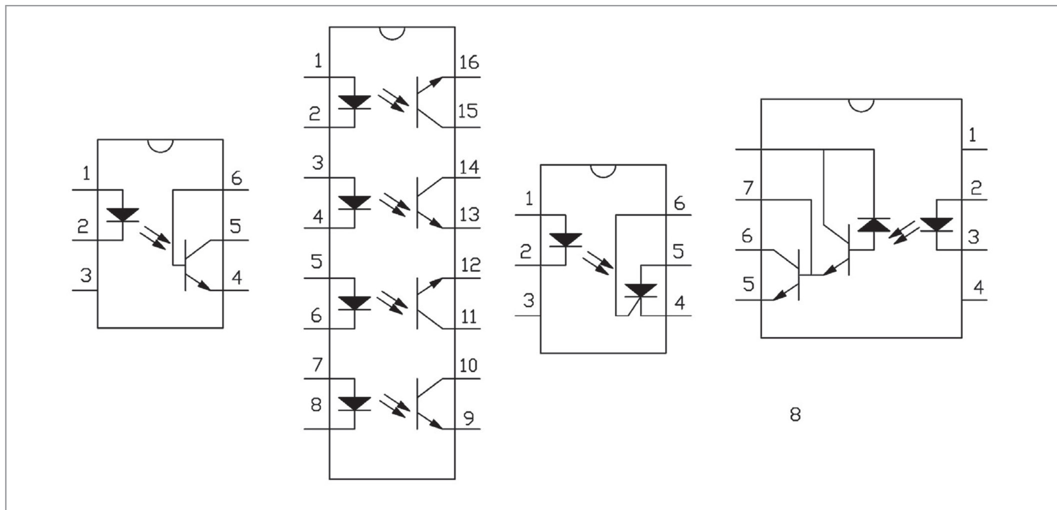


شكل (٢٥)

الرابط الضوئي أو العازل الضوئي هو عنصر يوصل دارتين بعضهما ببعض باستخدام الضوء لغرض العزل يبين شكل (٢٥) بعض أنواع العوازل الضوئية يشبه ذلك إلى حد كبير عمل المحولات والمرحلات الكهربائية، حيث يمكن استخدام دارة للتحكم بعمل دارة أخرى مختلفتين في فولتية التشغيل دون حدوث تغيرات غير مرغوب فيها أو لحماية دارة التحكم من أي خلل كهربائي.

ويستخدم عادة ثنائي مشع LED كمصدر للضوء وترانزستور ضوئي كمجس ضوئي موضوعان في غلاف معتم بحيث يؤدي تشغيل الثنائي المشع إلى تشغيل الترانزستور الضوئي . يبين الشكل(٢٥) بعض أنواع الربط الضوئي حيث يستخدم الربط المغلق في العزل الكهربائي وفي تحويلات المستوى وفي المفعلات الكهربائية، كما يستخدم الربط مع مفتاح (الحاجز) لتقطيع الإشارة كمجس لكشف الأجسام والاهتزازات وكمفاتيح، وكما يستخدم زوج الانعكاس في عناصر المراقبة وكشف الحركة .

وتتوفر هذه الدارات كدارات متكاملة فيها (ثنائي مشع مع ترانزستور أو ثنائي مشع مع ثايرستور أو ثنائي مشع مع ترانزستور دارلنجتون) تمكن من الحصول على عزل كهربائي قد يصل إلى أكثر من 7000 فولت حسب مواصفات التصنيع . لاحظ شكل (٢٦) .



شكل (٢٦) بعض أشكال دارات العزل الضوئي المتكاملة

من ميزات دارات الربط الضوئي :

١- الحماية من الفولتيات العابرة .

٢- تخفيض مستوى الضجيج .

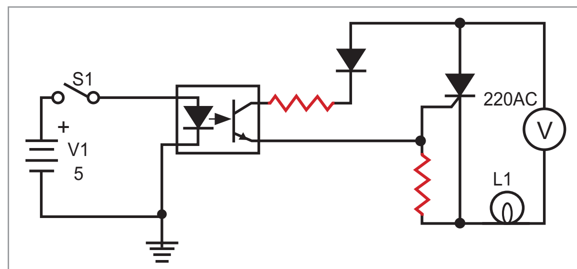
٣- الربط بين دارات بنقاط أرضية غير مشتركة .

و تستخدم وحدات العزل الضوئي في تطبيقات كثيرة، حيث حلت مكان المرحلات ومحولات العزل

مثال ١:

ربط دارات ذات جهد عالٍ مع دارات ذات جهد منخفض .

من الدارة المبينة في الشكل (٢٧) يلاحظ أنه يتحكم بتشغيل الحمل (هنا مصباح كهربائي) الذي يعمل على جهد 220 فولتاً بواسطة جهد مستمر صغير مقداره 5V عند



شكل (٢٧)

إغلاق المفتاح S يعمل على تشغيل الثنائي داخل وحدة الربط فيعمل على تشغيل الترانزستور، ومن ثم يقدح الثايرستور ويضيء المصباح، أو ممكن أن يكون مكان المفتاح إشارة كهربائية قادمة من أحد المجسات .

مثال ٢:



شكل (٢٨)

دارات القياس : يبين الشكل(٢٨) كيفية استخدام وحدة الربط الضوئي كمقياس سرعة دوران أو عدد الدورات، وتسمى هذه الدارة بالتاكوميتر، وتسمى أيضاً ENCODER كما تظهر في الشكل (٢٨)، ويوجد منها أنواع متعددة حسب الاستخدام، حيث يستخدم قرص دوار فيه عدد من الثقوب يسمح بمرور الضوء من خلاله، حيث يؤدي الضوء المار عبر الثقب (الثقوب) إلى قدح الترانزستور الضوئي المتصل بدوره إلى عداد يعرض سرعة الدوران أو عدد الدورات الكلي . ولمعرفة سرعة محرك مثلاً يوصل القرص الدوار مع المحرك حيث يدور القرص بدوران المحرك بنفس السرعة، وفي أثناء دورانه تولد الدارة عدداً من النبضات يساوي عدد الثقوب على القرص لكل دورة كاملة ، ولمعرفة تردد النبضات المتولدة (عدد النبضات في الثانية)، يجب معرفة سرعة دوران المحرك N دورة / دقيقة ومعرفة عدد الثقوب في القرص H . فإن عدد النبضات المتولدة في الدقيقة الواحدة يساوي H x N، ومنها يمكن معرفة التردد (عدد النبضات في الثانية) $\frac{H\,N}{60}$.

إذن يمكن معرفة سرعة المحرك إذا عرف التردد الناتج وعدد الثقوب .

$$F = \frac{H\,N}{60}$$

$$N = \frac{60F}{H}$$

مثال٣ :

إحسب سرعة محرك ما إذا كان التردد الناتج من جهاز تاكوميتر يساوي 0.5KHz وعدد الثقوب H = 10

الحل:

السرعة N

$$N = \frac{60\,F}{H} \Leftarrow N = \frac{60x500}{10}$$

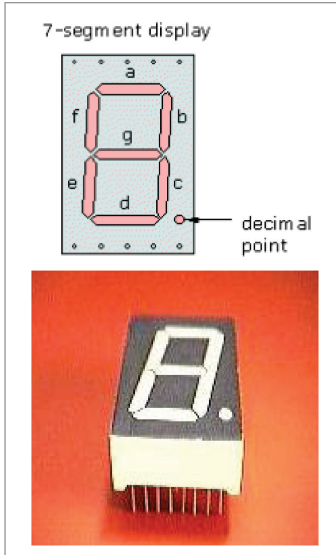
إذاً السرعة = 3000 دورة في الدقيقة .

■ شاشات العرض الرقمية (وحدة الشرائح السبعة) 7 Segment Displays

تستخدم شاشات العرض الرقمية كمؤشر رقمي في العديد من أجهزة القياس وكذلك بعض الأجهزة الكهربائية، وتتكون من ثمانية ثنائيات باعثة للضوء، ويمكن التحكم بإضافة كل ثنائي على حدة، علماً بأن الثنائي ذا اللون الأحمر هو الأكثر شيوعاً واستخداماً في بناء شاشات العرض.

الثنائيات مرتبة ومرقمة كما في الشكل (٢٨)، وعليه فإن توصيل جميع الثنائيات مع مصدر جهد كهربائي مقداره 5 فولت سيظهر الرقم ثمانية وهكذا بالنسبة لبقية الأرقام من 0 إلى 9.

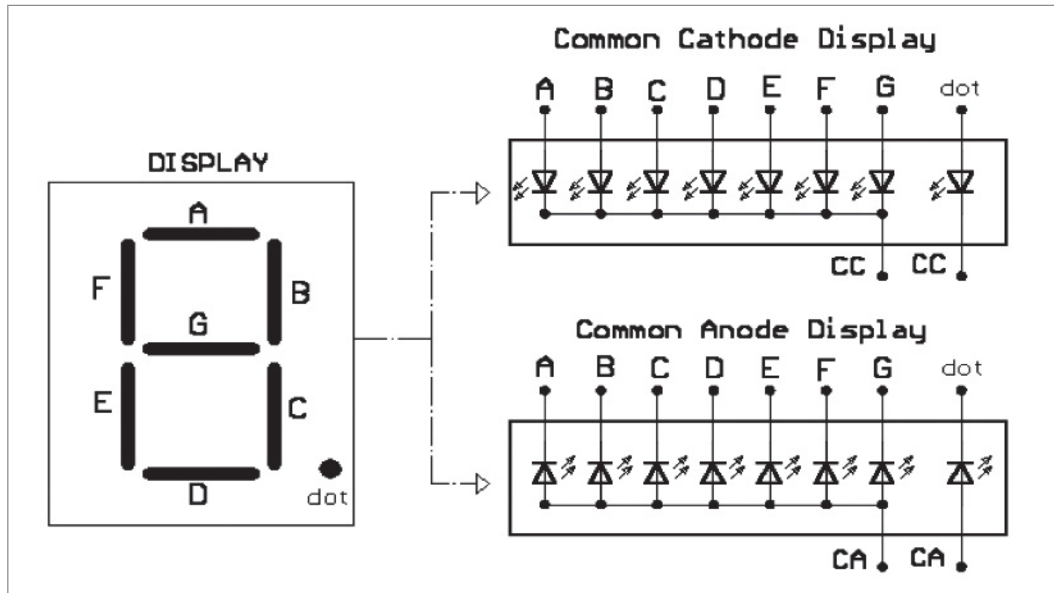
أما بالنسبة للثنائي (d.p) فهو يمثل الخانة العشرية، ويمكن بناء شاشات العرض بطريقتين كما في الشكل (٢٩).



الشكل (٢٨) 7- Segment Display

١. توصيلة المصعد المشترك (Common Anode Displays):

في هذه الشاشات جميع المصاعد (Anodes) للثنائيات موصولة مع الطرف الموجب لمصدر الجهد



شكل (٢٩): توصيلة المصعد المشترك والمهبط المشترك

لإضافة أي ثنائي في هذه التوصيلة يجب توصيل المهبط الخاص بالثنائي (a, b, c, d, e, f, g, d.p) بإشارة مقدارها صفر فولت.

عند ربط هذه التوصيلة بمصدر الجهد الموجب يجب مراعاة مواصفات الثنائي (2v, 20 mA) كما في الشكل (٣٠) وعليه يجب إضافة مقاومة مع المهبط، مثال على ذلك :

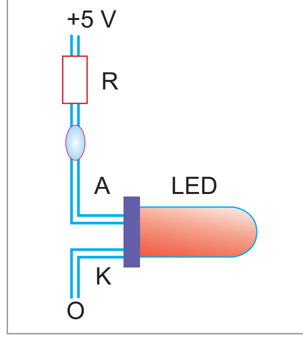
إذا كان جهد المصدر 5 فولت

$V - V_D = R \times I_D$

$R = (V - V_D) / I_D$

$R = (5 - 2) / 2mA$

$R = 150\ \Omega$



شكل (٣٠)

٢. توصيلة المهبط المشترك (Common Cathode Displays):

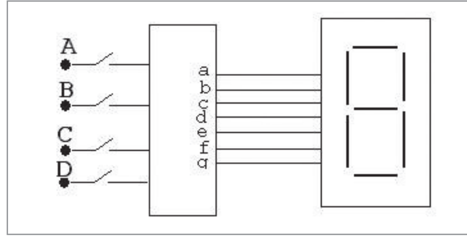
في هذه الشاشات جميع المهابط (Cathodes) للثنائيات موصولة مع الطرف السالب (جهد يساوي صفراً) للمصدر. ولإضافة أي ثنائي في هذه التوصيلة يجب توصيل المصعد الخاص بالثنائي (a,b,c,d,e,f,g,d.p) بمصدر الجهد الموجب مع الأخذ بعين الاعتبار مقاومة الحماية للثنائيات كما في المثال السابق.

مثال :

تطبيقات 7 Segment Displays

إظهار أرقام من خلال المفاتيح (تحويل من النظام الثنائي إلى BCD)

يوجد IC جاهزة Decoder خاص بكل نوع من أنواع شاشات العرض (ممكن الاستعانة بكتب المكافئات للتعرف على هذه IC (مثل 74249، 74248 ، 74247 التي يطلق عليها BCD to 7 Segment Decoder / Driver).



شكل (٣١)

من الدارة في الشكل (٣١) عند الضغط على المفتاح D يظهر الرقم (١) وهكذا.

ممكن استخدامه في كثير من التطبيقات مثل إظهار أرقام الغرف في الفنادق، أجهزة العد . . . الخ.

الألياف البصرية Optical Fibers

انتقلت اتصالات الألياف البصرية Optical Fibers من أنظمة بسيطة لإيصال الضوء إلى أماكن يصعب الوصول إليها إلى أنظمة تؤثر على حياتنا كالتي أحدثتها الإلكترونيات والحاسبات . تمتلك الألياف البصرية مزايا عديدة كقلة الفقد، وخفة الوزن، ولكن الميزة الهامة هي سعة نطاقها العالية جداً التي تصل إلى آلاف البلايين من الخامات لكل ثانية. لقد احتلت الألياف البصرية مكاناً متميزاً في مجال الاتصالات إذ حلت محل الأسلاك النحاسية في العديد من الاستخدامات كالربط بين المقاسم الهاتفية والخطوط بعيدة المدى وعبر البحار تطورت تقنية البصريات الليفية Fiber Optics تطوراً سريعاً خلال العقود الماضية فاقت كل التوقعات مما جعلها تتربع موقعاً

تنافس فيه وسائل الاتصالات الأخرى .

مما أدى إلى شيوع استخدام أنظمة الاتصالات الليفية البصرية في جميع مجالات الاتصالات بدءاً من الوصلات للمستخدم حتى الاتصالات بعيدة المدى سواءً في اليابسة أو عبر البحار .

النظام الليفي البصري Optical Fibers System .

يبين الشكل (٣٢) مخططاً صندوقياً لنظام ليفي بصري يحتوي على الآتي :

أ . دارات تشغيل تقوم بتحويل الإشارة الكهربائية ويحولها إلى تيار لتشغيل المنبع الضوئي .

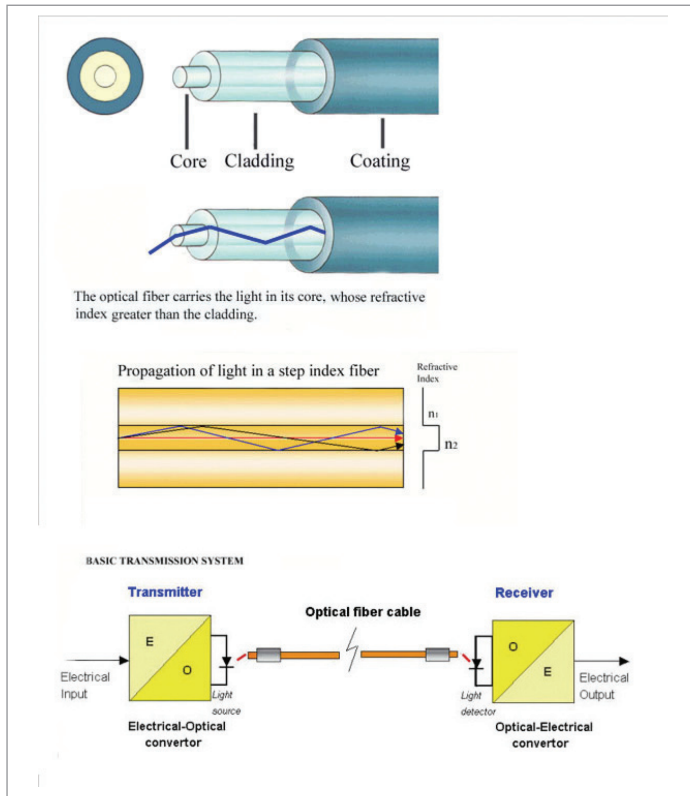
ب . منبع ضوئي يقوم بإيصال الإشارة الضوئية إلى الليف البصري .

جـ . الليف البصري هو القناة اللازمة لنقل الإشارات .

د . كاشف ضوئي يقوم بتحويل الإشارات البصرية إلى إشارات كهربائية .

هـ . مستقبل يتولى تضخيم الإشارات القادمة من الكاشف ويرسلها إلى المستخدم .

و . موصلات ومقارن ووصلات دائمة لربط العناصر المختلفة لنظام الاتصالات دائمة لربط العناصر المختلفة لنظام الاتصالات الليفي البصري .



شكل (٣٢) أجزاء الليف البصري

تمثل الألياف البصرية العنصر الأساسي في أنظمة الاتصالات الليفية البصرية وهي مكونة من مواد عازلة زجاجية أو بلاستيكية لها شكل أسطواني يسمى اللب محاطاً بطبقة أخرى تسمى الكساء . تستخدم الألياف البصرية كقنوات اتصال لنقل الضوء المحمل بالمعلومات من مكان إلى آخر .

عند دخول الضوء بزاوية معينة تحدث انعكاسات داخل الليف عندما تتقابل مع الكساء، ويتطلب ذلك أن يكون معامل انكسار اللب أكبر من معامل انكسار الكساء . يبين الشكل (٣٢) مقطعاً لليف بصري نرى انعكاس الضوء داخل الليف .

ميزات الألياف البصرية

للألياف البصرية مزايا عديدة جعلتها تتفوق على النظم الأخرى المستخدمة في مجال الاتصالات ومن هذه المميزات ما يلي :

١- عرض نقاطها عال جداً .

٢- قطرها صغير ووزنها خفيف .

٣- لا يوجد تداخل بينها مهما قربت المسافة بينها .

٤- لا تتأثر بالحث أو التداخل الكهرومغناطيسي .

٥- انخفاض في سعر تكلفة المكالمات .

٦- أكثر أماناً وسلامة .

٧- حياتها طويلة .

٨- تتحمل درجات حرارة عالية ولا تتأثر بالمواد الكيميائية .

٩- سهولة الصيانة كما يمكن الاعتماد عليها .

الفوائد الرئيسية للألياف البصرية:

١- إن عرض النطاق المرتفع جداً يعني إمكانية نقل معلومات عالية جداً بواسطة ليفة بصرية واحدة، وقد تكون هذه المعلومات صوراً تلفزيونية أو مكالمات هاتفية أو معلومات للحواسيب أو مزيج منها . وقد تم تشغيل خطوط نقل معلومات بمعدل 10 جيجابت لكل ثانية . والأبحاث مستمرة في أنحاء العالم للحصول على أنظمة تعمل بمعدل معلومات أعلى ولمسافة أطول .

٢- قطرها صغير ووزنها خفيف ، يبلغ سمك الليفة البصرية سمك الشعرة ، وعلى الرغم من أن هناك طبقات واقية توضع فوقها إلا أنها لا تزال أقل حجماً ووزناً من الأسلاك الهاتفية أو المحورية ومثالاً على ذلك أن ليفاً بصرياً بقطر يبلغ 125 مايكرو متر ضمن كابل يبلغ قطره 6 ملم يمكن له أن يحل محل كابل هاتفي قطرة 8 سم ويحتوي على 900 زوج من الخطوط السلكية النحاسية، وهذا يعني أن الحجم قد انخفض بنسبة تزيد عن 10 : 1 وكمثال آخر على صغر حجم الكابلات البصرية فإن كابلات محورية بطول 230متراً وقطر 46 سم وتزن 7 أطنان كانت تستخدم في نظام رادار متقدم على ظهر أحد السفن تم استبدالها بكابلات بصرية تزن 18 كغم وقطرها 2,5سم . مما سبق يتضح لنا إمكانية إضافة كابلات بصرية في نفس مسارات الكابلات النحاسية والمحورية في شتى مجالات الاتصالات السلكية .

ونظرا لهذه الميزة فقد تم استبدال الكابلات النحاسية في كثير من الطائرات والبواخر بألياف بصرية .

وبسبب صغر الحجم وقلة الوزن فإن نقلها وتركيبها يتم بصورة أسهل وأسرع من الكابلات النحاسية وهذا يعني تكلفة أقل .

٣- نلاحظ أحيانا عند إجراء محادثة هاتفية سماع أصوات محادثات هاتفية أخرى ، وهو ما يطلق عليه باللغط ، وهذا النوع من التداخل لا يحدث عند استخدام الألياف البصرية مهما قربت المسافة بينهما .

٤- تتمتع الألياف البصرية لكونها مصنعة من مواد عازلة بعدم تأثرها بالحث الكهرومغناطيسي الصادر من مصادر الكهرومغناطيسية الصناعية كالمحركات والمولدات وأجهزة الكهربائية المختلفة أو الطبيعية كالبرق .

٥- تصنع معظم الألياف البصرية في وقتنا الحاضر من مادة السليكا والموجودة بكثرة في الرمل والتي يقل سعرها كثيراً عن معدن النحاس الذي بدأ ينفد في أماكن كثيرة من العالم ، ونظراً للميزات التي ذكرناها فإن ثمن نقل المعلومات بأنواعها المختلفة سيقل عن الأنظمة المختلفة الأخرى .

٦- نظراً لأن الضوء هو الوسط الناقل للمعلومات في الألياف البصرية ، ولا يولد هذا الضوء أى مجال مغناطيسي خارج الكابل فإن من الصعوبة بمكان التجسس ومعرفة المعلومات التي يحويها الكابل البصري ، كما أن من الصعوبة معرفة وجود الكابل البصري بسبب المادة المصنع منها ولا يوجد جزء معدني إلا في بعض الحالات ، حيث تتم إضافة كابل فولاذي لتقوية الكابل البصري ، أو تسليح معدني لحماية الكابل من القوارض والأحمال الخارجية . أما الميزة الأخرى فهي سلامة الألياف البصرية ؛ لأن الضوء الناقل لا يمكنه أن يحدث شرارا أو دارة قصر لعدم وجود تيار كهربائي فيه ؛ ولهذا السبب يمكن استخدام الألياف البصرية في المحلات الحاوية على غازات أو مواد قابلة للاحتراق ومستودعات المواد الخطرة ، كما أن احتمال كهربة العاملين في الألياف البصرية غير وارد .

٧- يتوقع أن يكون عمر الألياف البصرية في حدود 25 عاماً مقارنة بخمسة عشر عاماً للنظم الأخرى ، حيث إن المكونات الأساسية للألياف هي الزجاج الذي لا يصدأ .

٨- يمكن للزجاج أن يتعرض لدرجات حرارة متفاوتة من حيث الانخفاض والارتفاع ، كما يمكن استخدامه في أجواء تحتوي على مواد كيماوية مختلفة دون أن يتعرض للتلف .

٩- وضعت المكررات Repeaters على مسافة 100 كم بين مكرر وآخر ، وهذا يقلل من عدد المكررات وبالتالي من صيانة النظم ، كما يزيد من الاعتماد على النظام لقلة الأجهزة المستخدمة ، بينما المسافة بين المكررات في النظام الهاتفي المستخدم حالياً تتراوح بين 4 إلى 6 كم .

تطبيقات الألياف البصرية Optical Fiber Applications

مما لا شك فيه أن كثيراً من الحقول في المجالات المدنية والعسكرية بدأت تستفيد من فوائد الألياف البصرية ومن الصعب جداً التعرف على كل المجالات الممكن استخدام الألياف البصرية فيها، وسنقوم في هذا القسم بالتعرف على بعض الاستخدامات العامة .

١- الاتصالات الهاتفية Telephone Communications

٢- الاتصالات التلفزيونية TV Communications

تركيب خطوط كابلات تلفزيونية تصل للمنازل مما يعطي المشتركين نطاقا واسعاً للتطبيقات المختلفة ولا يقتصر استخدامها على النقل التلفزيوني فحسب، بل يستخدم للدارات المغلقة والأنظمة الأمنية والنقل التلفزيوني عالي الوضوح .

٣- محطات القوى Power Stations

نظراً لعدم تأثر الألياف البصرية بالمجال المغناطيسي أو الحث الناتج عن المولدات الكهربائية أو خطوط الضغط العالي، فقد تم تركيب الألياف البصرية في محطات القوى الكهربائية لنقل المكالمات الهاتفية ونقل المعلومات، كما تم تركيبها جنباً إلى جنب مع خطوط الضغط العالي لنقل المعطيات Data transmission والسيطرة control .

٤- الشبكات المحلية Local Area Networks (LAN)

يطلق هذا الاسم على شبكات الاتصالات المستخدمة لتبادل المعلومات بين الحسابات والمستخدمين، وهذه الشبكات تكون في نطاق جغرافي محدود كمكاتب الشركات أو الجامعات أو المستشفيات أو غيرها ومجالاتها ما بين 100 متر إلى 10كم وسعة نطاقها فوق المليون وحدة ثنائية / ثانية .

٥- الاستخدامات العسكرية Military Applications .

٦- نقل المعطيات Data transmission

أدى الطلب المتزايد على خطوط نقل ذات سعات عالية وبصفة خاصة ما يتعلق بتطبيقات الإنترنت إلى اتساع الأبحاث في مجال الألياف البصرية المواكبة لهذا الطلب .

٧- الكابلات المغمورة Undersea Cables

الأسئلة:

س١ : ضع إشارة (✔) أو إشارة (✖) أمام العبارات التالية :

١- تفسر النظرية الضوئية ظهور الضوء على شكل موجات .

٢- ظاهرة الحيود فسرتها النظرية الكمية .

٣- الأمواج الضوئية تتكون من مجالين كهربائي ومغناطيسي .

٤- كلما زاد تردد الموجة الكهرومغناطيسية يقل طولها .

٥- كلما زاد تردد الموجة الكهرومغناطيسية تزداد سرعتها .

٦- أفضل استجابة للعين البشرية عند اللون الأزرق .

٧- أجهزة الرؤية الليلية تعمل على تتبع الأشعة تحت الحمراء .

٨- الظاهرة الكهروضوئية تعني زيادة حاملات الشحنة .

٩- تيار الظلام يعتمد على جهد الانحياز العكسي .

١٠- يعدّ شعاع الضوء الساقط على وصلة p-n حاقناً لحاملات الشحنة الأقلية .

١١- تتناسب قيمة المقاومة الضوئية تناسباً طردياً مع شدة الضوء الساقط عليها .

١٢- علاقة المقاومة الضوئية(قيمتها) مع شدة الإضاءة الساقطة عليها علاقة غير خطية .

١٣- الضوء الساقط على الثنائي الضوئي يعمل على زيادة تيار التسريب العكسي .

١٤- يعتمد عمل الترانزستور الضوئي على الظاهرة الكهروضوئية .

١٥- العلاقة بين تيار المجمع Ic وشدة الإضاءة الساقطة على الترانزستور الضوئي علاقة طردية .

١٦- تعمل الخلية الشمسية على ظاهرة التأثير الكهربائي الضوئي .

١٧- تعمل وحدة الربط الضوئي على ربط دارتين بعضهما ببعض بواسطة الضوء .

١٨- لا يمكن التجسس على خطوط الاتصالات التي تستخدم الألياف البصرية .

١٩- عرض نطاق الألياف البصرية مرتفع جداً؛ مما يعني نقل معلومات دقيقة وقليلة .

٢٠- تيار التسريب العكسي يزداد بازدياد الضوء الساقط على وصلة p-n .

س٢ : علل ما يلي :

١- زيادة موصلية المواد شبه الموصلة نتيجة تعرضها للضوء .

٢- توليد قوة دافعة كهربائية في الخلايا الشمسية .

٣- يستخدم الثنائي الضوئي في القياسات الدقيقة المتعلقة بالضوء .

٤- التجسس على وسائل النقل التي تستخدم الألياف البصرية أصعب من التجسس على وسائل النقل التي تستخدم الأسلاك النحاسية .

٥- استخدام الألياف البصرية في محطات القوى .

س٣ : ارسم رمز كل مما يلي :

١- المقاومة الضوئية . ٢- الثنائي الضوئي . ٣- الترانزستور الضوئي .

٤- ترانزستور دارلنجتون ضوئي . ٥- الثايرستور الضوئي . ٦- الخلية الشمسية .

س٤ : عرف التالي :

١- الظاهرة الكهروضوئية . ٢- ظاهرة التأثير الكهربائي الضوئي .

٣- المقاومة الضوئية . ٤- تيار الظلام . ٥- العزل الضوئي .

س٥ : إذا علمت أن طول الموجة للضوء الأخضر 546 نانو متر

أ- احسب طاقة الفوتون الأخضر . ب- احسب تردد الضوء الأخضر .

س٦ : اذكر مساوئ كل من :

أ- المقاومة الضوئية . ب- ترانزستور ضوئي ذي طرفين .

س٧ : علامَ تعتمد استجابة الثنائي الضوئي؟

س٨ : ما هي محددات الخلايا الشمسية؟

س٩ : عدد ميزات كل مما يلي :

أ- دارات الربط الضوئي . ب- الألياف البصرية . جـ- الخلايا الشمسية .

س١٠ : عدد أجزاء النظام الليفي البصري .

س١١ : احسب التردد الناتج من جهاز التاكوميتر ذي 5 ثقوب الموصول على محرك سرعة دورانه 5000 دورة في الثانية .

س١٢ : إشرح كيفية توصيل شاشات العرض الرقمية .

س١٣ : كيف يمكن حساب مقاومة الحماية للقطع الإلكترونية .

س١٤ : مستعيناً بالرسم اشرح كلاً من الدارات التالية :

١- دارة التحكم في سرعة محرك باستخدام المقاومة الضوئية .

٢- دارة تحويل شدة الضوء إلى فرق جهد .

٣- دارة استقبال باستخدام ترانزستور ضوئي .

٤- دارة استقبال باستخدام ثنائي ضوئي بدل الترانزستور الضوئي .

٥- دارة إنذار باستخدام ثايرستور ضوئي .

٦- دارة إنذار باستخدام ترانزستور ضوئي بدل ثايرستور ضوئي .

٧- دارة ربط دارات ذات جهد عالٍ مع دارات ذات جهد منخفض .

الوحدة

٤

الإلكترونيات الحرارية



الحـــــرارة

مقدمة

توصف الأشياء، تبعاً لسخونتها، بأنها حارة، أو ساخنة، أو باردة؛ فيقال يوم بارد أو يوم حار، أو شديد الحرارة. وهذا التصنيف، نسبي؛ فالشاي يتناول ساخناً، بينما تتناول المشروبات الغازية باردة؛ ولو كان الشاي أقل سخونة من المعتاد، لقيل إنه بارد، ويحتاج إلى تسخين. والشعور بحرارة الهواء نسبي كذلك؛ فدرجة حرارة 25° مئوية، في فصل الصيف في مدينة القدس مثلاً، تجعل اليوم معتدلاً. ولكن الدرجة نفسها، في المكان نفسه، في فصل الشتاء تجعل اليوم شديد الحرارة. ولجسم الإنسان درجة حرارة معيارية ثابتة، يقارن بها ارتفاع درجة حرارته أو انخفاضها.

ولكن، من الواضح، أن هناك خلطاً كبيراً بين مفهومَي الحرارة ودرجتها؛ على الرغم من أهميتهما وشيوع استعمالهما، لذا فإن من الأولى إيضاح الفرق بينهما، وكيفية قياس كلٍّ منهما؛ وتبيان الآلية، التي تنتقل بها الحرارة من جسم إلى آخر.

الفرق بين الحرارة ودرجة الحرارة

إن جميع المواد مكونة من جزيئات وذرات ، دائمة الاهتزاز والحركة؛ ولكنها متفاوتة السرعة، في المادة الواحدة. فكلما ارتفعت درجة الحرارة، ازداد متوسط سرعة الجزيئات. وحركة الجزيئات تعبّر عن الطاقة الحركية، فدرجة الحرارة لأي مادة هي مقياس لمتوسط طاقتها الحركية، أو متوسط سرعة حركة جزيئاتها.

والحرارة Heat شكل من أشكال الطاقة. وتعرَّف بأنها إجمالي الطاقة الحركية، لكل الذرات والجزيئات المكونة للمادة. ويمكن أن ينظر إليها، على أنها طاقة في حالة انتقال بين جسمَين، مختلفَين في درجة حرارتهما. ويمكن إيضاح هذه الحقيقة بمثال : لو وُضع إناءان، بحجم واحد، على النار؛ الأول مملوء كله بالماء، والثاني مملوء ربعه فقط، لبدأت الحرارة تنتقل إلى السائل فيهما، بمعدل انتقال واحد؛ لأن قوة النار تحتهما واحدة. إلا أن ارتفاع درجة الحرارة، سيكون أكثر سرعة إلى الإناء الأقل ماءً، منه إلى الإناء الممتلئ.

كمية الحرارة، إذن، تعتمد على كتلة المادة؛ ولكن درجة الحرارة، لا تعتمد عليها. وعلى الرغم من أن مفهومَي الحرارة ودرجتها مميزان ومختلفان أحدهما عن الآخر؛ إلا أنهما مترابطان. فالمؤكد أن زيادة حرارة المادة، تؤدي إلى رفع درجة حرارتها.

آلية انتقال الحرارة

أ- التوصيل Conduction

انتقال الحرارة من جزيء إلى جزيء في المادة؛ فانتقال النشاط الجزيئي في المادة، بين الجزيئات المتجاورة، يؤدي إلى سريان الحرارة من طرف القضيب المعدني المعرض للهب إلى الطرف الآخر. ويكون سريان الحرارة دائماً من الطرف أو الجزء الدافئ الأعلى حرارة إلى الجزء الأبرد.

قدرة المواد على التوصيل الحراري، تختلف من مادة إلى أخرى؛ فالمعادن مثلاً تَعَد موصلات جيدة للحرارة؛ والهواء موصل رديء للحرارة. ويعتمد التوصيل الحراري، في المواد على بناء جزيئاتها وترابطها.

ب- الحمل Convection

كثير من عمليات نقل الحرارة، التي تحدث في الغلاف الغازي، تحدث بطريقة الحمل Convection. وتعرَّف هذه الآلية بأنها انتقال الحرارة بتحرك الكتلة، أو بالدورات الداخلية للمادة. لذا، فهذه الطريقة، تحدث في الموائع فقط (وهذه تشمل السوائل، مثل مياه المحيطات؛ وتشمل الغازات، مثل الهواء).

جـ- الإشعاع Radiation

الطريقة الثالثة لانتقال الحرارة، هي الإشعاع Radiation، المنبعث من جسم مشع، في جميع الاتجاهات. وعلى خلاف الطريقتَين السابقتَين، التوصيل والحمل، اللتَين تتطلبان وسطاً، تنتقل خلاله الحرارة، فإن الإشعاع يسري في الفضاء. والإشعاع هو الآلية، التي تنتقل بها الطاقة من الشمس إلى الأرض، وبقية كواكب المجموعة الشمسية.

جميع الأشياء، التي درجة حرارتها فوق الصفر المطلق، بغض النظر عن كبرها أو صغرها، تطلق طاقة إشعاعية. فالنار، وجسم الإنسان، ، والأرض، والنجوم، كلها تشع نطاقاً عريضاً من الموجات الإشعاعية. وتنتقل على شكل موجات مختلفة الطول، يطلق عليها الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Waves ويعتمد طول الموجات، التي يشعها أي جسم، على درجة حرارته. فكلما كانت درجة حرارة الجسم أعلى، كانت الموجات أقصر، وطاقتها أكثر. ويتوقف الجسم عن الإشعاع، عند درجة الصفر المطلق.

قياس درجة الحرارة

للتعبير عن درجة الحرارة، كَمّاً، كان لا بدّ من وجود مقاييس معيارية، وخاصة أن الشعور ببرودة الأشياء أو سخونتها، نسبي إلى حدٍّ كبير. فلو أن هناك ثلاثة أكواب من الماء، في الأول ماء بارد، وفي الثاني ماء دافئ،

وفي الثالث ماء ساخن. فإن الإنسان، الذي يضع يده في الكوب الثالث، وينقلها إلى الكوب الثاني، سيشعر أن الماء في الكوب الثاني بارد. وعلى العكس من ذلك، لو أنه وضع يده في الكوب الأول، ثم وضعها في الكوب الثاني، فسيشعر أن الماء في الكوب الثاني ساخن. وتنطلق مقاييس درجة الحرارة من نقاط مرجعية؛ وأحياناً، تسمى نقاط الضبط، من هذه النقاط، مثلاً، درجة حرارة ذوبان الثلج، ودرجة حرارة غليان الماء تحت ضغط جوي محدد.

هناك ثلاثة مقاييس شائعة، تقاس بها درجة الحرارة: مقياس كالفن، والمقياس الفهرنهايتي، والمقياس المئوي. ويمكن تحويل الدرجات المقيسة بأحد هذه المقاييس إلى المقياسَين الآخرَين، من دون عناء.

أجهزة القياس

يعد قياس درجات الحرارة من المتطلبات الرئيسية في عمليات الإنتاج، ويهدف ذلك إلى تحقيق جودة عالية للمنتج أو التمكن من التحكم بالعمليات الصناعية.

تصنف أجهزة قياس درجة الحرارة إلى قسمين:

١- أجهزة - معدات - غير كهربائية:

يستخدم في هذه المعدات المعادن والسوائل والغازات، فعند تغير درجة الحرارة تتمدد هذه المواد فتؤدي إلى حركة مؤشر مرتبط بها موصول على تدريج مناسب ليعطي قياساً مباشراً لدرجة الحرارة. ومن ميزاتها: بساطة التركيب، وسهولة الصيانة، والقياس المباشر.

٢- أجهزة القياس الكهربائية والإلكترونية:

من أكثر أجهزة القياس تطوراً أجهزة القياس الكهربائية والإلكترونية، حيث تعتمد على خاصية تحويل التغير في درجات الحرارة إلى تغير في خواص المواد المستخدمة، مثل: تغير قيمة المقاومة أو توليد فرق في الجهد كهربائي. والوظيفة الأساسية لأنظمة القياس الكهربائية والإلكترونية هي إعطاء معلومات عن الكمية المقاسة، بالإضافة إلى ذلك فإن أنظمة التحكم الآلي تعتمد بنسبة 100٪ على أنظمة القياس الكهربائية والإلكترونية، وتمتاز أيضاً بتكبير الإشارة الكهربائية المراد قياسها، حيث يعطي حساسية عالية، ومن ميزاتها أيضاً إمكانية القياس عن بعد، والاعتمادية العالية، وقلة الصيانة، وسهولة المعايرة، وخفة الوزن. وقد تطورت بشكل ملحوظ مع تقنية أشباه الموصلات وتطورت أكثر مع تطبيق التقنية الرقمية. ومن القطع الإلكترونية التي تعتمد عليها الازدواج الحراري، والكواشف الحرارية والثيرمستور، وبعض الدارات المتكاملة Ic الخاصة.

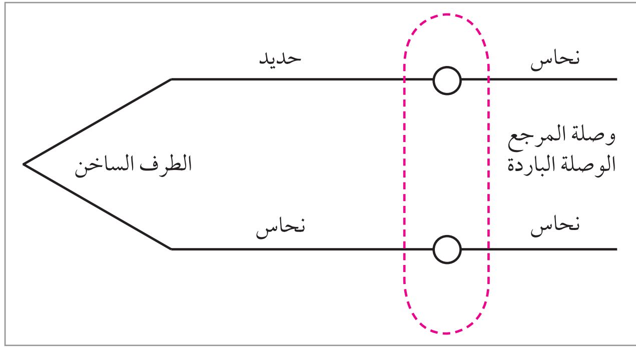
الازدواج الحراري: Thermocouple

ما هو الازدواج الحراري:

هو من أبسط أنواع المجسات المستخدمة في قياس درجات الحرارة وأكثرها انتشاراً وخاصة في درجات الحرارة المرتفعة . و يتكون من سلكين من نوعين مختلفين من السبائك (المعادن) موصولين في نهاية واحدة . عند ارتفاع درجة الحرارة يتولد فرق جهد قليل بين طرفي الأسلاك . ويتناسب فرق الجهد مع فرق درجات الحرارة ويعتمد أيضاً على المادة المصنوع منها .

التركيب:

يتكون من وصلتين وصلة القياس (الجس ، الحارة ، الساخن +) والوصلة المرجعية (الباردة ، السالبة –) لاحظ الشكل (١) ويتوفر منه عدة أنواع بناءً على مادة السبائك المصنوع منها ، ومنها مشهور مثل (J , K , T ,E) وهناك أنواع أخرى مثل (R , S , C , G , B ,



شكل (١)

وهذه تستخدم لدرجات الحرارة العالية جداً، والجدول (١) يوضح بعض ميزات أشهر الأنواع . وكل واحد منها له مدى حراري وخصائص خاصة به .

جدول (١) ميزات الأنواع المشهورة من الازدواج الحراري

النوع	المدى الحراري C	نسبة الخطأ	مادة التصنيع و القطبية	EMF (mv)	الحساسية ميكروفولت / درجة	الأوساط المناسبة للعمل
J	0 – +750	0.75%	+ حديد – كونستانتان	0 to 42.28	25.6	الخاملة والاختزالية والفراغ
K	- 200 – +1250	0.75%	+ كروميل – ألوميل	-5.97 to 50.63	38.8	النظيفة والمؤكسدة والخاملة
E	-200 – +900	0.5%	+ كروميل – كونستانتان	-8.82 to 68.78	67.9	المؤكسد والخامل
T	-200 – +350	0.75%	+ نحاس – كونستانتان	-5.60 to 17.82	40.5	الرطبة ومعتدلة الأكسدة والاختزالية والفراغ

السبائك المستخدمة :

١- كونستانتان Constantan تتركب من نحاس 55% ونيكل 45%

٢- كروميل Chromel يتكون من نيكل 90% وكروم 10%

٣- ألوميل Alumel يتكون من نيكل 95% ومنغنيز 2.5% وألمنيوم 2% وحديد 0.5%

طريقة اختيار الازدواج الحراري

يستخدم الازدواج الحراري في التحكم الصناعي بشكل كبير لإمكانيته الواسعة لقياس درجات الحرارة وتحمّله ظروف تشغيليّة صعبة . **ويختار الازدواج الحراري بناءً على :**

١- المدى الحراري .

٢- الظروف الكيميائية المحيطة .

٣-مقاومة الاهتزاز والتآكل .

٤- المواءمة مع الدوائر الإلكترونية .

ميزاته:

١- يخدم طويلاً

٢- يقاوم الصدمات والاهتزاز والتآكل .

٣- مدى درجات حرارة واسع .

٤- سهل التصنيع .

٥- لا يحتاج إلى طاقة .

٦- لا يستهلك طاقة حرارية (لا يضيع طاقة حرارية)

٧- صغير الحجم .

مساوئه:

١- يعطي فرق جهد قليل

٢- غير خطي .

تغليف الازدواج الحراري

يغلف الازدواج الحراري بمواد مقاومة للصدأ والتآكل ومقاومة لتغيرات درجات الحرارة وتحمي من الصدمات، وتكون ذات معامل توصيل حراري عالٍ ومن أشهرها :

١ . مؤرض grounded داخلي وملامس للغلاف يوفر تبادلاً جيداً للحرارة وسريع الاستجابة

٢ . المعزول – غير مؤرض – ungrounded داخلي وغير ملامس للغلاف وبطيء الاستجابة، ولكن يوفر عازلية جيدة للكهرباء .



شكل (٢)

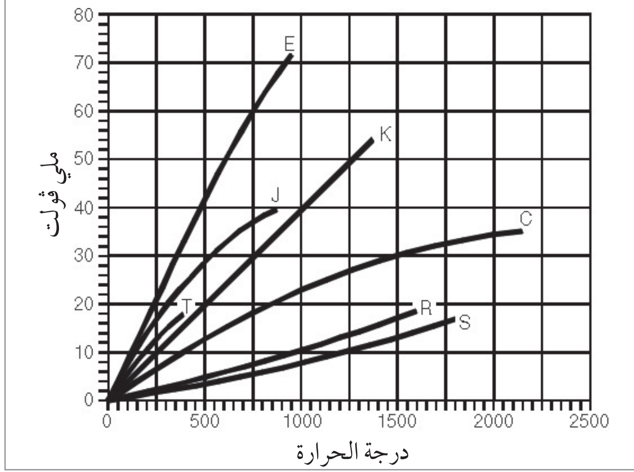
٣ . المكشوف exposed أسرع من سابقيه، ولكن مقاومته للعوامل المحيطة (الخارجية) ضعيفة، ولا يقاوم التآكل، فهو محدود الاستخدام في الجو الجاف فقط، ولا يصلح في تطبيقات الضغط .

منحنى الجهد والحرارة

يبين الشكل (٣) منحنى خصائص الجهد – درجة الحرارة لبعض أنواع الازدواجات الحرارية، ويلاحظ من المنحنى أن العلاقة غير خطية.

من التجارب العملية تبين أن العلاقة للازدواج الحراري نوع T قطره 0.2 ملم لدى درجات حرارة 90 – 20 درجة مئوية هي:

$$V = (-0.0173 + 0.041937t)\ mv$$

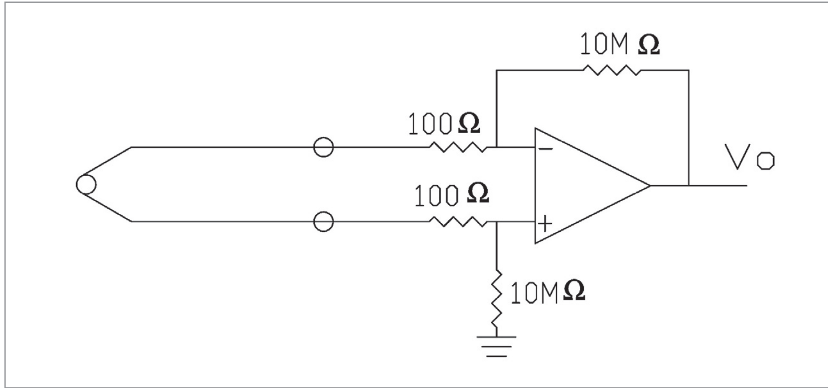


شكل (٣)

مثال:

تحويل درجة الحرارة إلى جهد كهربائي:

من الناحية النظرية عند استخدام ازدواج حراري من نوع K مثلاً نلاحظ أنه من الجدول (١) يعطي 38.3 ميكرو فولت لكل درجة حرارة، في هذا المثال نفرض أن درجة الحرارة تغيرت من 100 - 0 درجة مئوية (على فرض أن العلاقة خطية على الفترة المختارة وفرق الجهد على درجة حرارة الصفر يساوي صفراً).



شكل (٤)

يكون فرق الجهد الناتج: $V = 100 \times 38.8\ \mu v = 0.388\ mV$

إذن نحتاج إلى دارة مضخم لتكبير الإشارة الناتجة من الازدواج الحراري، ونختار مضخماً ذا معامل تكبير عالٍ وليكن 10^4 فيكون التغير في الجهد من $0 – 3.38\ V$.

دارة المضخم التي تم اختيارها في هذا المثال مضخم العمليات الطارح مع معمل تكبير 10^4 لاحظ الشكل (٤) حيث تكون $R_f / R_{in} = 10^4$ إذا كانت $R_{in} = 100\Omega$ تكون $R_f = 1M\Omega$.

ممكن استخدام فرق الجهد الناتج من الدارة في عمل دارة ميزان حراري إلكتروني أو ممكن استخدامه في التحكم بالعمليات الصناعية.

الكواشف الحرارية Temperature Detectors Resistance (TDR)

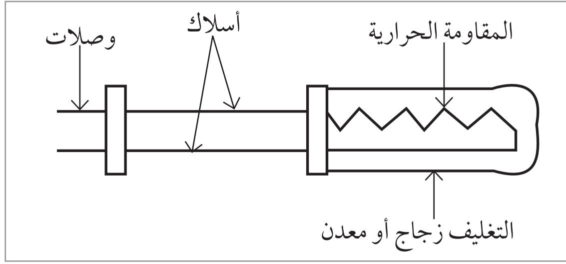
هو أداة (مجس) لقياس درجة الحرارة ، وهو من أقدم أنواع المجسات ، ويعتمد مبدأ عمله على تغير مقاومة المعادن مع درجات الحرارة ، ويتم اختيار معادن ذات معامل حراري كبير (زيادة الحساسية) وتكون ذات معامل حراري موجب – أي تزيد المقاومة بزيادة درجات الحرارة – ، و يكون السلك رفيعاً جداً يتراوح قطره (0.1 – 0.05) ملم وذا مقاومة عالية للتآكل، ويكون ملفوفاً على عازل من السيراميك ، والشكل (٥) يبين تركيب الكاشف الحراري وتختلف العلاقة بين المقاومة ودرجات الحرارة من مادة إلى أخرى ، ويمكن حساب قيمة المقاومة بالمعادلة التالية :

$$R = R_o (1 + a T + b T^2 + c T^3 + . . .)$$

و يتم تبسيطها للتقريب لمتغيرين فتصبح المعادلة

$$R = R_o (1 + a T + b T^2)$$

في بعض أنواع المعادن تعمل على متغير واحد فقط .



شكل (٥)

حيث :

T : درجة الحرارة .

R : المقاومة عند درجة الحرارة (قيمة المقاومة الجديدة) .

R_o : المقاومة عند درجة حرارة الصفر المئوي .

a , b , c ثوابت تعتمد على نوع المادة .

أمثلة على الثوابت :

البلاتين : $a = 0.0039$, $b = 0.00000588$

النحاس : $a = 0.0042$

أنواع الكواشف الحرارية

توصف الكواشف الحرارية تبعاً لمادة التصنيع ، ومن أشهرها :

١- الكواشف الحرارية البلاتينية .

٢- الكواشف الحرارية النحاسية .

٣- الكواشف الحرارية النيكلية .

و يبين الجدول (٢) خواص الكواشف الحرارية المستخدمة (قطر السلك المستخدم 0.1 ملم)

جدو ل(٢) خواص الكواشف الحرارية المستخدمة

النوع	مدى درجات الحرارة	الدقة	المقاومة Ω	المزايا	العيوب
نحاس	-100 – +150	0.5±	10	▪ خطي ▪ عالي الدقة ▪ عالي الاستقرارية	مجال محدود لدرجات الحرارة
النيكل	-80 – +350	0.5±	100 - 300	▪ عالي الحساسية ▪ معامل حراري عال	غير خطي
البلاتين	-260 – +1000	1±	10 – 35	▪ عالي الاستقرارية ▪ مجال واسع لدرجات الحرارة	بطيء الاستجابة

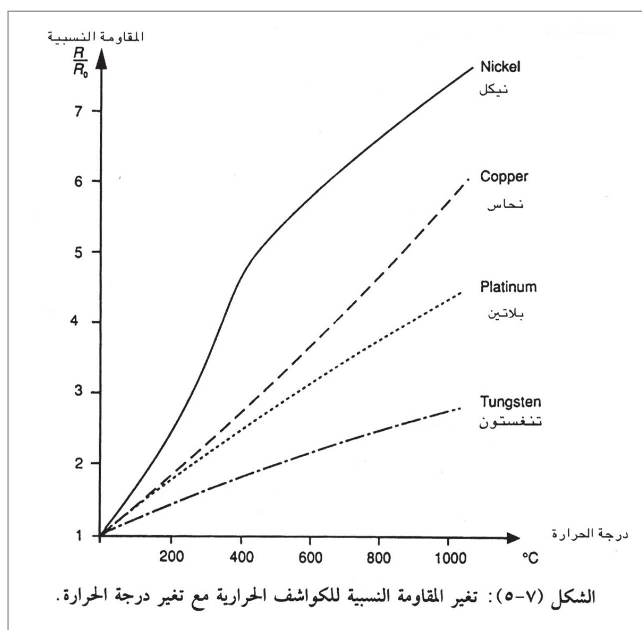
خصائص الكواشف الحرارية:

١- الدقة : تتراوح نسبة الخطأ بين (0.5 – 1) درجة .

٢- الاستقرارية : نسبة التغير في المقاومة مع تغير درجات الحرارة تبقى ثابتة مع الزمن .

٣- الاستجابة : وهي الزمن اللازم حتى يعطي قيمة جديدة مستقرة تتناسب مع التغير الذي حصل .

٤- التسخين الذاتي : هو التغير في مقاومة الكاشف نتيجة الحرارة المتولدة من مرور التيار الكهربائي فيه .



الشكل (٧-٥): تغير المقاومة النسبية للكواشف الحرارية مع تغير درجة الحرارة.

شكل (٦)

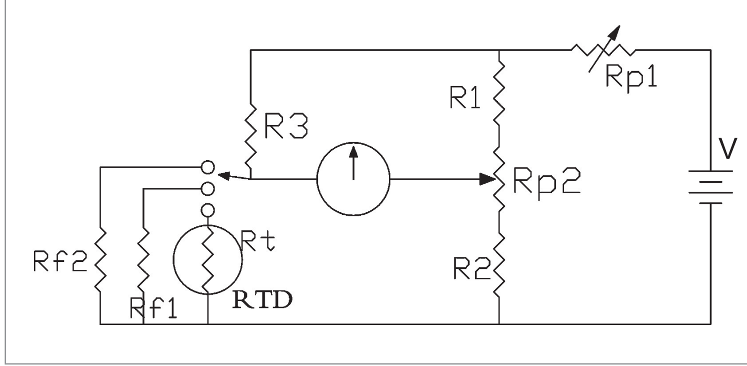
منحنى الكواشف الحرارية (المقاومةالنسبية مع درجات الحرارة)

يبين الشكل (٦) علاقة المقاومة الكهربائية النسبية R/R_o مع درجات الحرارة حيث R_o مقاومة المادة عند درجة حرارة الصفر المئوي وR المقاومة عند درجة حرارةالقياس .

مثال :

ميزان حرارة إلكتروني تمثيلي :

لزيادة حساسية القياس يتم توصيل الكواشف الحرارية بدارة جسرية (قنطرة ويتستون) ويمكن تحويل التغير في المقاومة الناتج عن تغير في درجات الحرارة إلى تغير في فرق الجهد أو تغير في شدة التيار حسب الاستخدام المطلوب .



شكل (٧)

الدارة في الشكل (٧) تمثل دارة ميزان حرارة تمثيلي مدى القياس متغير (ممكن حسب التدريج المطلوب) المطلوب في هذا المثال عمل تدريج لدرجات الحرارة من (100 – 0) درجة مئوية ، لذا يتم قياس مقاومة الكاشف الحراري على درجة صفر ، وتسميتها R_{f1} ، وقياس مقاومة الكاشف على درجة حرارة 100 وتسميتها R_{f2} .

في البداية وضع المفتاح على توصيلة R_{f1} وتغيير قيمة المقاومة المتغيرة R لنحصل على أقل تدريج ، ومن ثم وضع المفتاح على توصيلة R_{f2} وتغيير قيمة المقاومة المتغيرة R_{p2} لنحصل على أعلى انحراف للمؤشر . ثم تقسم المسافة بين النقطتين بالتساوي من (100 – 0) . يوصل المفتاح في النهاية على وصلة TDR_2 ، ويكون المؤشر يدل على قيمة المقاومة الحالية .

ممكن تغيير المدى المراد قياس درجات الحرارة به فقط بتغيير نقاط الضبط R_{f2} ، R_{f1} حسب درجات الحرارة المطلوبة .

الثيرمستور Thermistor

هو مقاومة ذات حساسية عالية لتغيرات درجة الحرارة ، وتصل دقتها إلى (0.2 - 0.1) أوم لكل درجة حرارة مئوية ، ويصنع من مواد شبه موصلة وبعض أكاسيد المعادن مثل الحديد والنيكل والكروم .

و يصنف الثيرمستور إلى مجموعتين : الأولى ذات معامل حراري سالب NTC أي أن مقاومته تنخفض بازدياد درجة الحرارة . والثانية ذات معامل حراري موجب PTC أي أن مقاومته تزداد بازدياد درجة الحرارة ، ويدخل في صناعتها البلاتين ، وحساسيتها أقل من حساسية NTC .

أشكاله:

تتم صناعة الثيرمستور كما هو مبين في الشكل (٨) بعدة أشكال لتناسب تطبيقاته المختلفة، وتغطى بطبقة من السيراميك أو الزجاج، ومن هذه الأشكال:

١- الأسطواني.

٢- القرصي.

٣- الحلقي.

٤- الخرزي.



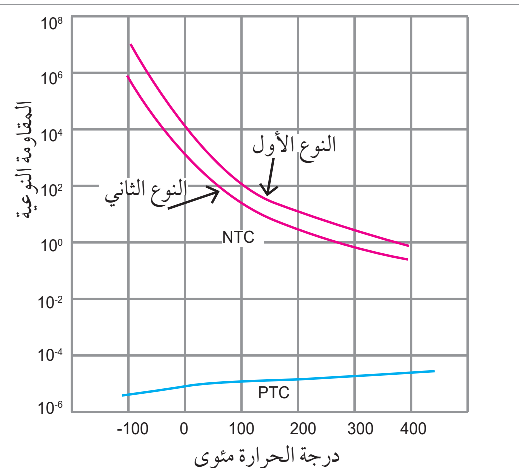
شكل (٨)

منحنى خصائص الثيرمستور:

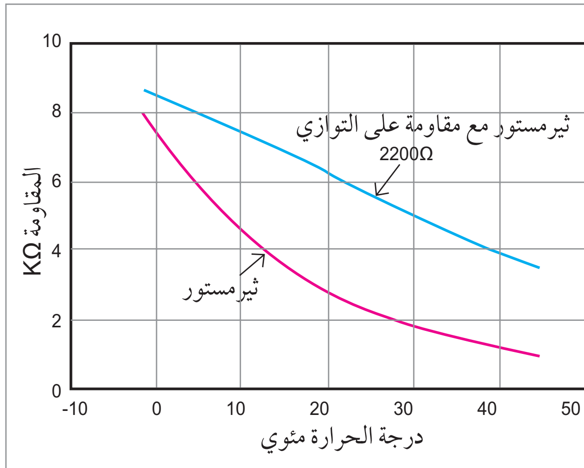
يوضح الشكل (٩) العلاقة بين المقاومة النوعية للثيرمستور والتغير في درجة الحرارة.

يلاحظ من المنحنى أن الثيرمستور NTC مقاومته تقل بارتفاع درجات الحرارة، والثيرمستور PTC مقاومته تزداد بارتفاع درجات الحرارة، والعلاقة غير خطية.

وللتخلص من العلاقة غير الخطية وجعلها تقريباً خطية يوصل الثيرمستور NTC بالتوازي مع مقاومة كربونية فينتج منحنى كما في الشكل (١٠) علاقة خطية



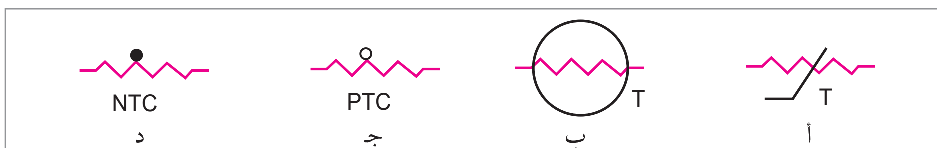
شكل (٩)



شكل (١٠)

رموزه:

يبين الشكل (١١) رمز الثيرمستور NTC ، PTC



شكل (٧)

■ ميزاته:

١ – الدقة العالية .

٢ – زمن الاستجابة صغير نسبياً .

٣– تكلفة قليلة

٤ – حجم صغير .

٥ – اسقرارية عالية .

٦ – له عدة أشكال .

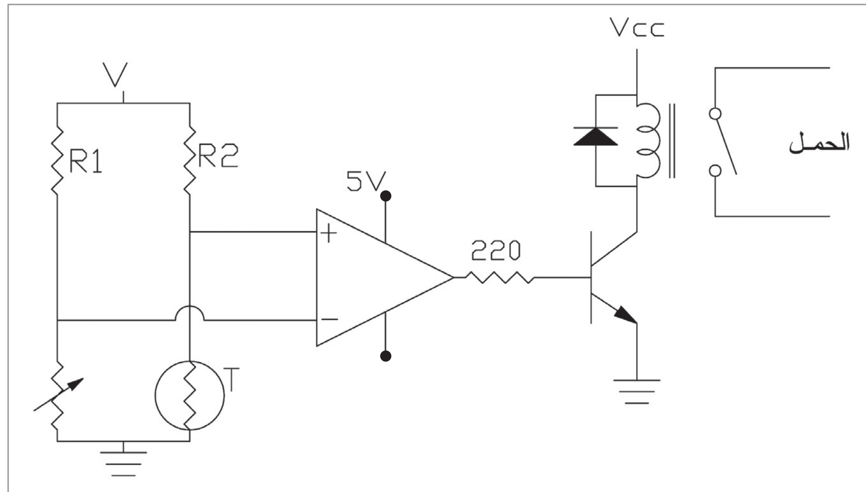
ويتوفر منه عدة أنواع حسب مادة التصنيع والشكل مثل سلسلة PT ، KT التي تعمل على مدى حراري (120+ - 80-) °C . و PS , KS التي تعمل على المدى (75+ - 80-) °C .

من الملاحظ أن مدى درجات الحرارة التي للثيرمستور أقل من الازدواج الحراري والكواشف الحرارية . و أيضاً صغر حجم الثيرمستور يؤدي إلى ضعف قدرته على التبديد الحراري ، وذلك نتيجة التأثيرات الحرارية التي تؤدي إلى زيادة نسبة الخطأ ، ولا يستخدم في دارات ذات القدرات العالية ، ويقتصر استخدامه على دارات ذات قدرات منخفضة نسبياً .

■ تطبيقاته:

١ – تشغيل الأحمال مثل محرك (مروحة) .

باستخدام قنطرة ويتستون كما في الشكل (١٢) . في الوضع الطبيعي (أي أقل من درجة الحرارة المطلوبة) يكون الجهد على المخرج (مخرج مكبر العمليات) صفراً، أو يكون في حالة تشبع سالب، وهذا لا يؤدي إلى تشغل الترانزستور ولا يعمل المرحل .



شكل (١٢)

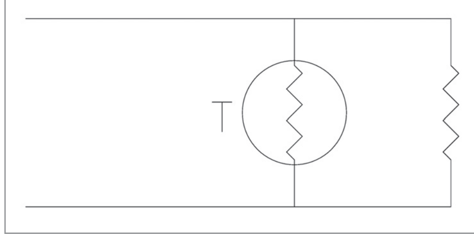
عندما تتغير درجة الحرارة للوسط الموجودة فيه الثيرمستور PTC تتغير مقاومته (ترتفع) مما يؤدي إلى رفع الجهد وعدم اتزان القنطرة، وعند نقطة معينة تعين بواسطة المقاومة المتغيرة أي وصول درجة الحرارة المطلوبة

يكون الجهد على القنطرة كافياً إلى نقل المقارن إلى التشبع الموجب، ويتم أيضاً تشغيل الترانستور الذي يعمل على إغلاق تلامسات المرحل ويعمل الحمل .

٢- درات التعويض .

تتأثر بعض الأجهزة الإلكترونية بدرجة الحرارة فتزداد قيمة مقاومتها مما يؤدي إلى خلل في عملها .

و لعلاج هذه المشكلة توصل مقاومة ثيرمستور NTC بالتوازي مع مقاومة كربونية – للاستفادة من العلاقة الخطية شكل (١٠) ثم توصل مع الحمل على التوالي لاحظ شكل (١٣).

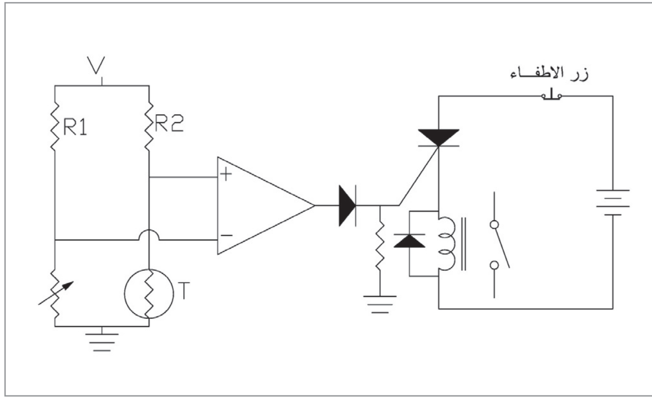


شكل (١٣)

عند ارتفاع درجة الحرارة ترتفع مقاومة الحمل ولكن مقاومة الثيرمستور تنخفض وبما أنهما على التوالي تكون قيمة المقاومة الكلية ثابتة تقريباً أي يعمل الثيرمستور على إلغاء تأثير الحرارة في المقاومة الكلية للدارة أو التقليل منها . ومن أمثلة ذلك تثبيت نقطة العمل Q-Point للترانزستور بحيث عند ارتفاع درجة الحرارة تتغير قيمة المقاومة R_c التي تعمل على توفير جهد الانحياز للترانزستور واختيار نقطة عمل مناسبة، فعند ارتفاع درجة الحرارة تتغير قيمتها ويتغير جهد الانحياز للترانزستور؛ ولهذا توصل دارة التعويض بالتوالي مع المقاومة R_c لتثبيت نقطة العمل Q-point .

٣- إنذار حريق .

عند وقوع حريق في مكان ما ترتفع درجة الحرارة وتؤثر على المجس الحراري (وهو في هذا المثال الثيرمستور) وهذه بدورها تعمل على نقل مكبر العمليات إلى التشبع الموجب الذي يعمل على نقل الثايرستور إلى حالة التوصيل وتشغيل المرحل الذي يعمل على تشغيل جرس الإنذار لاحظ الدارة في الشكل (١٤).



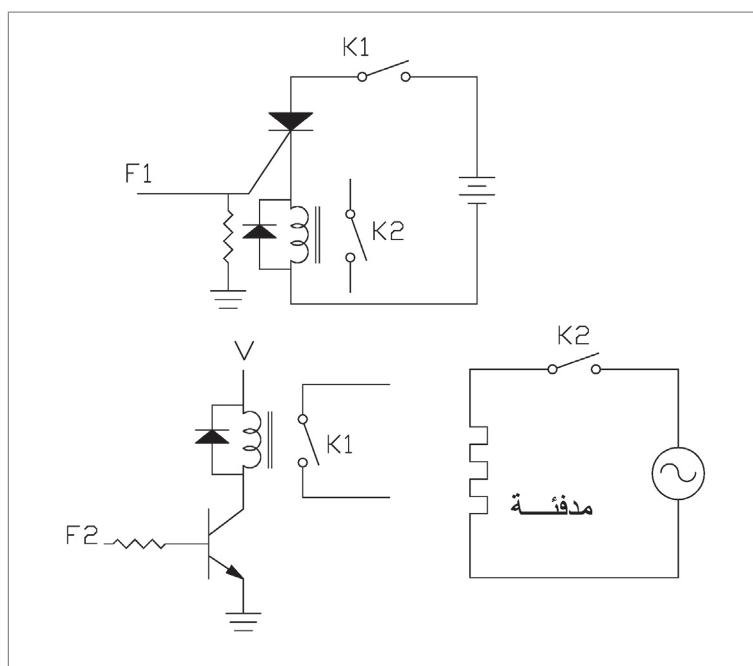
شكل (١٤)

المقاومة المتغيرة تعمل على ضبط درجة الحرارة التي يراد تشغيل الإنذار عندها . ويوضع الثنائي لمنع التيار السالب عند انخفاض درجة الحرارة بشكل يؤدي إلى جعل المقارن يعمل في حالة لتشبع السالب . تغذية الدارة للثيرستور DC وذلك لجعلها في حالة التوصيل إلى أن يتم الضغط على مفتاح الإطفاء .

٤ - ضبط درجة الحرارة بين قيمتين ($T_1 - T_2$)

لحفظ درجة حرارة مكان ما أو جهاز (مثل فرن فقاسة بيض) بحيث أن لا تقل درجة الحرارة عن قيمة معينة ولا تزيد عن قيمة معينة. بحيث إذا نقصت درجة الحرارة عن القيمة الصغرى لنفرض أنها T_1 يعمل محرك أو مدفأة لرفع درجة الحرارة، ويبقى في حالة العمل حتى يصل إلى درجة الحرارة العالية، ولنفرض أنها T_2، فيفصل المدفأة عند الوصول إلى هذه الدرجة.

في هذا المثال يلزم مجسان حراريان، وكل مجس يركب في قنطرة ويوصل مع مقارن، ويكون مخرج المقارن الأول F_1 لدرجة الحرارة الصغرى ومخرج المقارن الثاني F_2 يمثل درجة الحرارة الكبرى فتكون الدارة كما في الشكل (١٥).



شكل (١٥)

في حالة أن درجة الحرارة انخفضت عن درجة الحرارة الصغرى يكون كل من F_2، F_1 في حالة ON وبهذا يقدح F_1 الثايرستور، وF_2 يجعل المرحل K_1 يعمل فيؤدي إلى إغلاق الدارة (١)، ويعمل المرحل K_2 الذي يشغل الحمل (الذي يعمل على رفع درجة الحرارة).

عند ارتفاع درجة الحرارة بحيث تصبح أعلى من T_1 وأقل من T_2 يفصل F_1 ولا يعطي نبضات إلى الثيرمستور، ولكن الثيرمستور يبقى في حالة التوصيل؛ وذلك لأن جهد التغذية DC ويبقى الحمل يعمل.

عند ارتفاع درجة الحرارة بحيث تصبح أعلى من T_2 يفصل المخرج F_2 مما يؤدي إلى فصل المرحل K_1، وبهذا يفصل التيار عن الثيرمستور ويتوقف الحمل عن العمل.

عند انخفاض درجة الحرارة مرة أخرى عن T_2 يكون F_2 ON، ولكنه غير كافٍ لنقل الثيرمستور إلى حالة التوصيل.

المجسات الحرارية المتكاملة

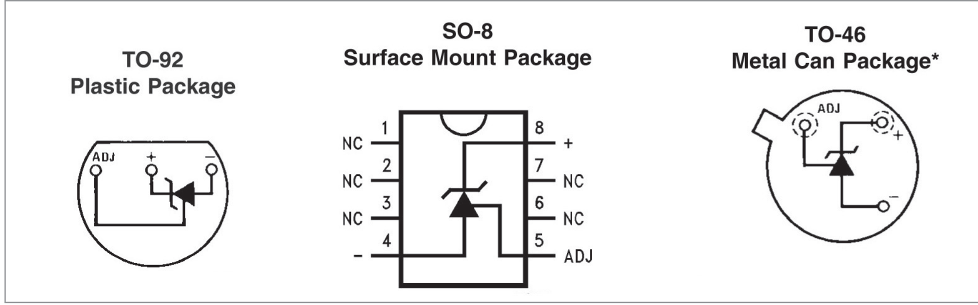
لقد تم تصنيع بعض المجسات الحرارية في دارات متكاملة تزود في الغالب بطرف خاص بالضبط والمعايرة وتمتاز بحساسيتها العالية لتغيرات درجات الحرارة، نذكر منها :

١- المجس الحراري LM135

مواصفاته:

١. له ثلاثة أطراف شكل (١٦) .

٢. مبدأ العمل التحكم في الجهد عن طريق التغيرفي درجة الحرارة +10m V/K



شكل (١٦)

٣. علاقة الجهد مع الحرارة علاقة خطية .

٤. الجهد على طرفيه 2.98V على درجة حرارة 25 °C وتيار 1m A

٥. مدى التيار 400μA إلى 5mA .

٦. المدى الحراري 55 °C − إلى 150 °C +

٧. مدى الخطأ أقل من درجة واحدة في مدى 100 درجة .

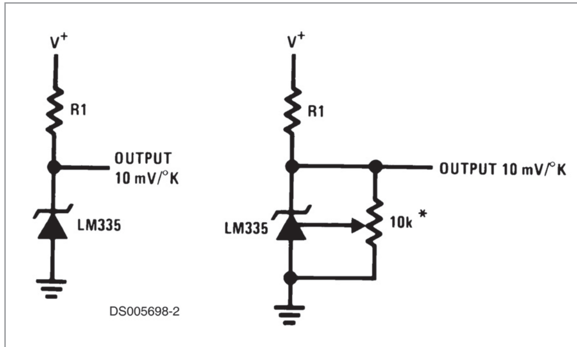
٨. الممانعة صغيرة .

هناك مجسات شبيهة مثل (LM335 ، LM235) ولكن المدى الحراري لها أقل من LM135

تطبيقاته:

١- مجسات حرارية بسيطة:

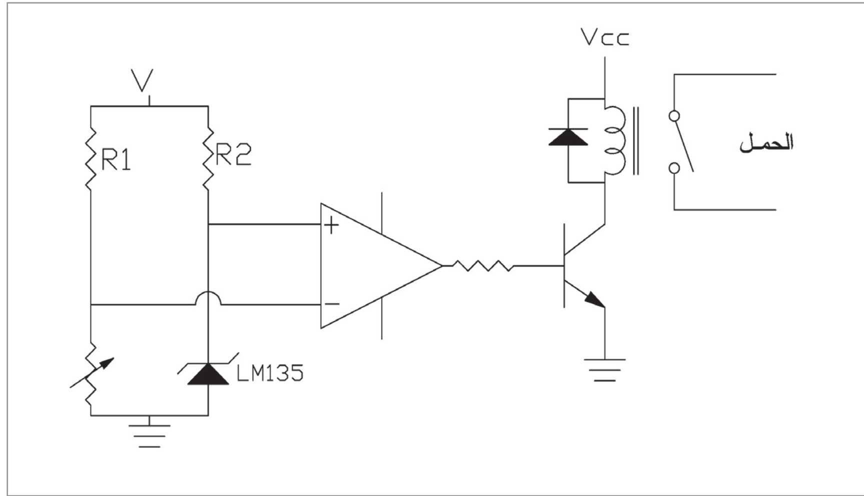
يبين الشكل (١٧) دارة بسيطة تستخدم المجس LM135 لقياس درجات الحرارة، ويمكن إضافة مقاومة متغيرة كما هو مبين في الشكل لعمل ضبط جهد المخرج، فعند ارتفاع درجة الحرارة يرتفع الجهد على طرفي المجس +10m V لكل درجة كليفن، ويمكن استخدام هذه الدرة البسيطة بإضافة دوائر تكبير أو مقارنة لزيادة الحساسية واستخدامها في العمليات الصناعية .



شكل (١٧)

ملاحظة : الطرف ADJ لا يستخدم في جميع التطبيقات، ويوضع المجس الحراري في الوسط المراد قياس درجة حرارته .

٢- التحكم في درجة الحرارة

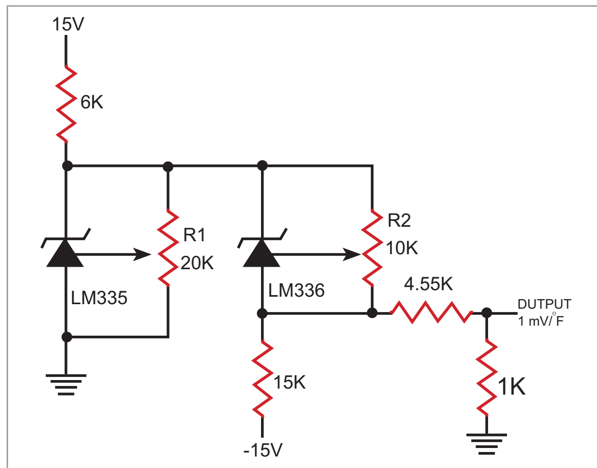


شكل (١٨)

الدارة في الشكل (١٨) توضح كيفية التحكم في درجة حرارة غرفة عن طريق تشغيل مكيف هواء بارد .

ممكن ضبط درجة الحرارة المرادة عن طريق المقاومة المتغيرة (نقطة مرجعية). عند ارتفاع درجة الحرارة يزداد الجهد على المجس الحراري حسب العلاقة +10m V/K حتى يصل إلى درجة الحرارة المطلوبة وينقل مكبر العمليات إلى التشبع الموجب (عند ارتفاع درجة الحرارة عن النقطة المرجعية) ويعمل الحمل، وعند انخفاضها مرة أخرى يقل الجهد على المجس، وينتقل مكبر العمليات إلى الصفر أو التشبع السالب، وبما أن الترانزستور من نوع NPN فإنه لا يعمل على الجهد السالب . ويفصل المرحل ويتوقف الحمل عن العمل .

٣- ميزان حرارة فهرنهايتي °F



شكل (١٩)

الدارة في الشكل (١٩) توضح كيفية عمل ميزان حرارة إلكتروني فهرنهايتي بحيث يكون المخرج 1mV/°F ويتم ضبط المقاومة R_2 على جهد 2.554V والمقاومة R_1 لضبط المخرج لإعطاء الجهد المناسب لدرجة الحرارة .

كل زيادة في درجة الحرارة درجة واحدة فهرنهايتية تعمل على رفع الجهد 1m V، أي أنه إذا كانت درجة الحرارة 50 درجة فهرنهايتية يكون الجهد على المخرج 50 mV .

فعند ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى رفع الجهد على المجس، وكما هو مبين من الدارة في الشكل المجس

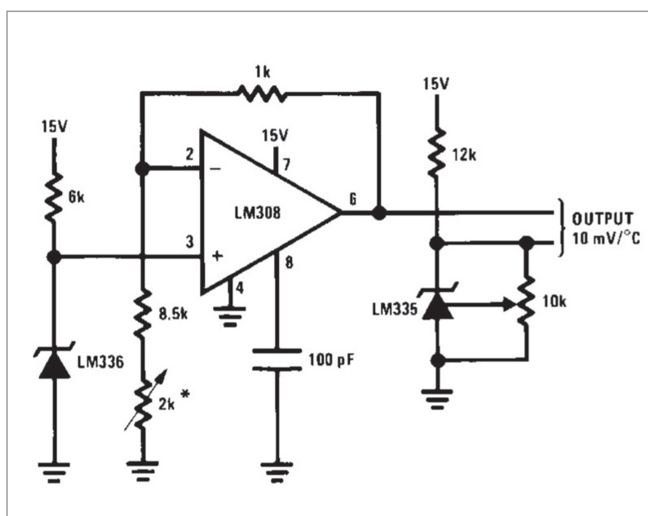
موصول بالتوازي مع المقاومة المتغيرة، فعند ارتفاع الجهد على المجس يرتفع على المقاومة؛ مما يؤدي إلى رفع التيار المار عبر المقاومة، ويمر التيار عبر المقاومة 1KΩ؛ مما يرفع الجهد عليها إذن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى رفع الجهد على المقاومة 1KΩ .

٤- ميزان حرارة مئوي °C

الدارة في الشكل (٢٠) تبين عمل ميزان حرارة إلكتروني بحيث يكون المخرج 10mV / °C الفرق بين الدارتين.

ويكون ضبط جهد المخرج عن طريق المقاومات المتغيرة.

ويستخدم أيضاً هنا المجس الحراري LM336 وهو يعمل على مدى حراري حتى 75 درجة مئوية وهو يستخدم مع مكبر عمليات غير عاكس ليعطي فرقاً في الجهد مع الدارة الثانية.



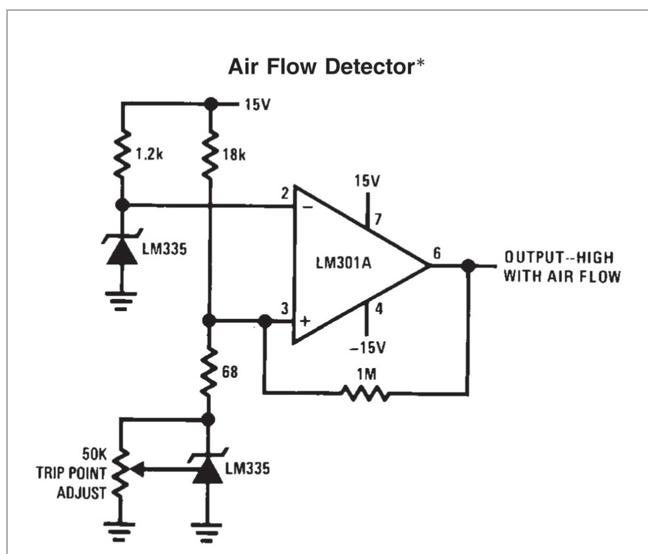
شكل (٢٠)

٥- مجس لتدفق الهواء Air Flow Detector

يبين الشكل (٢١) دارة إلكترونية تعمل على تحسس تدفق الهواء، بحيث تعمل على التسخين الذاتي للمجس عند تدفق الهواء .

والدارة هنا تعمل على مقارنة حرارة مجسين وعمل تكبير مناسب للإشارة الخارجة – ملاحظة معامل التكبير هنا كبير لزيادة الحساسية .

يوضع المجس الأول في مكان لا يكون فيه مرور لتيار الهواء (بعيداً عن تدفق الهواء) ويوضع المجس الثاني في المكان المراد قياس تدفق الهواء فيه. وتكون درجة حرارة الوسطين للمجسين متساوية. فعند تدفق الهواء وتعرض المجس الثاني إلى تيار الهواء ترتفع درجة حرارته (نتيجة لتصادم ذرات الهواء مع المجس) فيرتفع الجهد على المجس، ويرتفع جهد المخرج على مكبر العمليات .



شكل (٢١)

٢- المجس الحراري AD590

مواصفاته:

١ - المدى الحراري 55- إلى 150 °C+

٢- له طرفان يوصل الطرف الأول (+) مع القطب الموجب للمصدر أو للدارة، ويكون الطرف الثاني (−) مخرج تيار كما هو موضح في الشكل (٢٢) .

شكل (٢٢)

٣- الدقة 0.5 °C ± وبعضها يصل إلى ±0.3°C مثل AD590M .

٤ - جهد التغذية يتراوح بين 4V إلى 30 V

٥ - مخرج التيار مع درجة الحرارة خطي، ويعطى 1µA/K، وتكون قيمة التيار على درجة حرارة 298.2K 25°C يساوي 298.2µA .

٦ - استهلاك القدرة 1.5m W على جهد تغذية 5V عند درجة حرارة 25°C

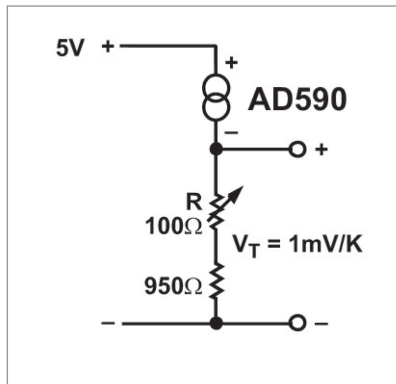
٧- سرعة الاستجابة عالية.

٨- ممانعة الخرج عالية أكثر من 10M Ω .

تطبيقاته :

١- مجس حراري بسيط

يمكن استخدام المجس الحراري في دارة بسيطة لعمل مجس حراري بسيط كما هو موضح في الشكل (٢٣)، بحيث يمكن التحكم في الجهد على المخرج (المقاومة الموصولة بالتوالي مع المجس) بواسطة المقاومة المتغيرة، حيث يعطي المجس تياراً يتناسب مع درجة الحرارة، كما مر في المواصفات، ويكون جهد المخرج يساوي:



شكل (٢٣)

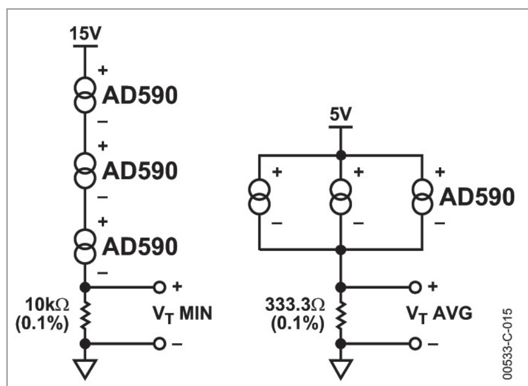
$$Vo = I(R + 950)$$

حسب الدارة في الشكل عند ارتفاع درجة الحرارة يرتفع التيار المار ويؤدي إلى ارتفاع الجهد على المخرج، وبهذه الدارة يمكن التحكم في كثير من الدوائر التي تعتمد على الحرارة، ويمكن زيادة حساسيتها بتوصيلها بدوائر مناسبة للتطبيق (مثل دوائر التكبير أو المقارنة) .

٢- توصيل المجسات على التوالي والتوازي

توصل المجسات على التوالي لقياس أقل درجة حرارة.

وتوصل المجسات على التوازي وذلك لأخذ معدل درجات الحرارة . والشكل (٢٤) يبين كيفية التوصيل.



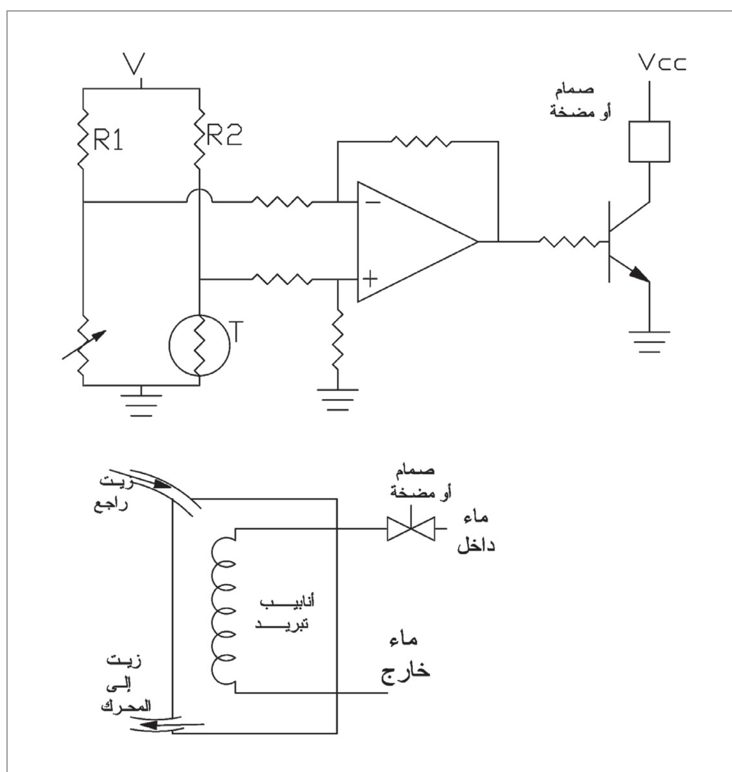
شكل (٢٤)

٣- حماية المحولات من ارتفاع درجة الحرارة

ارتفاع الحرارة الناتجة في المحولات تؤدي إلى تلف الملفات ، وبشكل عام جميع المحولات بحاجة إلى تبريد، فبعضها يتم تبريده بواسطة الهواء المحيط به، وبعضها يركب له مبددات حرارية، وبعضها يتم تبريده عن طريق الزيت، والزيت يتم تبريده بتمريره على مبددات حرارية، وبعض الأنواع يحتاج إلى تبريد الزيت بواسطة الماء حيث لا تكفي المبددات الحرارية، وفي هذا المثال سيتم شرح كيفية التحكم بماء التبريد.

يتجمع الزيت في خزان خاص به لتبريده، ويتم تبريد الزيت عن طريق الماء المار في أنابيب خاصة داخل الخزان، وتكون كمية الماء المار في الأنابيب متناسبة مع درجة الحرارة، بحيث إذا ارتفعت درجة حرارة الزيت تزداد كمية الماء، وإذا انخفضت درجة الحرارة تقل كمية الماء، وإذا انخفضت عن درجة حرارة معينة يتوقف تدفق الماء. بحيث يتم التحكم في كمية الماء المار عن طريق مضخة خاصة أو بواسطة صمام .

يوضع المجس الحراري داخل خزان الزيت، ويكون موصولاً بقنطرة كما في الشكل (٢٥) .



شكل (٢٥)

ويتم تعيين معامل التضخيم للطارح حسب الدقة المطلوبة ونوعية المجس الحراري، فعند ارتفاع درجة حرارة الزيت يعمل المجس على رفع الجهد على المدخل غير العاكس لمكبر العمليات الذي يقوم هنا بعملية الطرح مع معامل تكبير مناسب ، فارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى ارتفاع الجهد على مخرج مكبر العمليات؛ مما يعمل

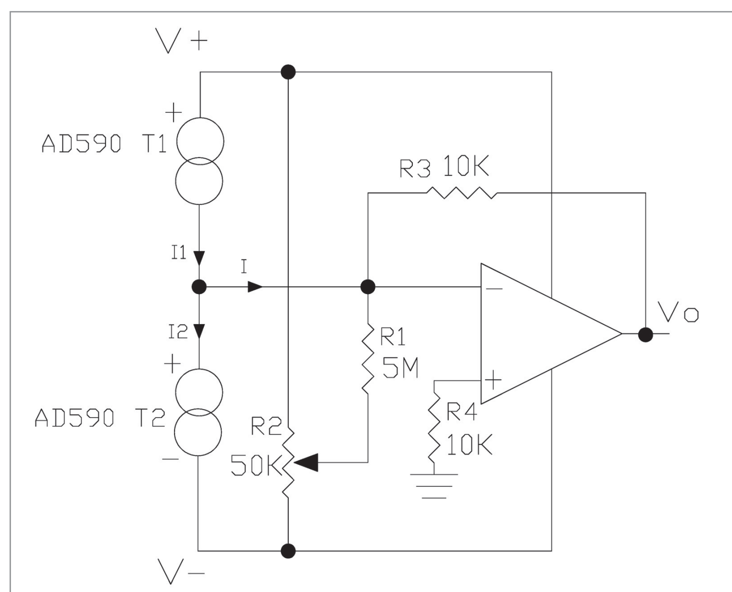
على زيادة التيار I_B للترانزستور، وهذا بدوره يعمل على زيادة الجهد على الصمام، فتزداد كمية الماء المار في أنابيب التبريد . وعند انخفاض درجة الحرارة ينخفض الجهد على المجس الحراري؛ مما يؤدي إلى انخفاض الجهد على مخرج مكبر العمليات وانخفاضه على الصمام وبالتالي انخفاض كمية الماء المار .

و إذا استمر انخفاض درجات الحرارة لتصبح أقل من درجة الحرارة المعينة (التي يتم تحديدها بواسطة المقاومة المتغيرة في القنطرة) يكون الجهد على مخرج مكبر العمليات جهداً سالباً، وبذلك يتوقف الصمام ويتوقف الماء عن المرور .

٤- مقارن بين درجتي حرارة

الدارة التي في الشكل (٢٦) تقارن بين مستويين من الحرارة، وتعطي فرق درجات الحرارة مضروباً بِ $10mV/^{o}C$

$$Vo = (T_1 - T_2)10m\ V$$

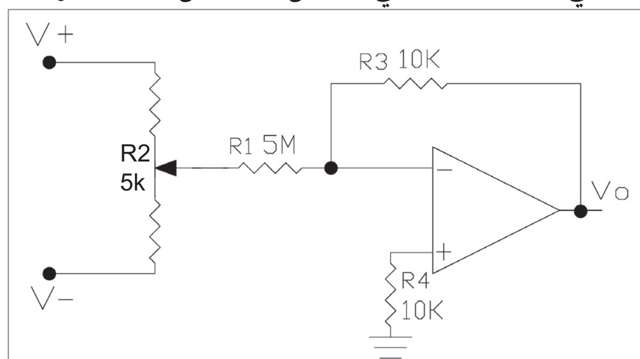


شكل (٢٦)

■ **شرح الدارة:**

- في البداية لضبط جهد المخرج يوضع المجسان في وسط واحد أو في وسطين لهما نفس درجة الحرارة .

فيكون التيار المار في المجس الأول يساوي التيار المار في المجس الثاني أي $I_1 = I_2$ ويكون التيار $I = (I_1 - I_2)$ يساوي صفراً، فتكون الدارة كما في الشكل (٢٧) .



شكل (٢٧)

فيتم ضبط (تغير قيمة) المقاومة المتغيرة حتى يصبح الجهد على المخرج يساوي صفراً (أي أن المقاومة 5M مع المقاومة المتغيرة موجودة لضبط الجهد على المخرج) فتكون الدارة بعد الضبط كما في الشكل (٢٨).

بعد عملية الضبط يوضع كل مجس في المكان المراد (المخصص) قياس درجة الحرارة فيه .

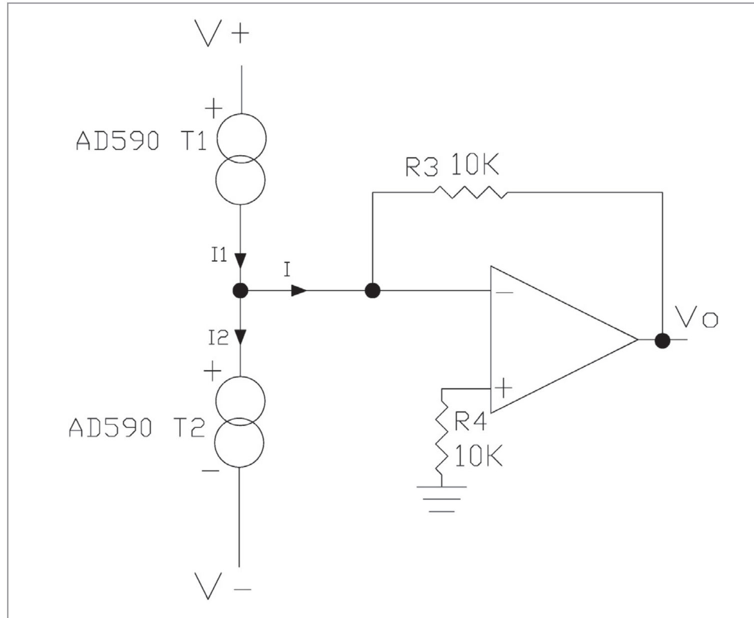
- عند ارتفاع درجة حرارة المجس الأول أكثر من المجس الثاني $T_1 > T_2$.

يكون التيار I_1 أكبر من التيار I_2 أي يكون التيار .

$$I = (I_1 - I_2)$$

موجب ويكون الجهد على المخرج موجباً .

$$V = I R_3$$



شكل (٢٨)

ويكون الجهد على المخرج متناسباً مع فرق درجات الحرارة 1μA لكل درجة .

$V = 1μA \times 10K = 10m\ V$ لكل درجة

- عند انخفاض درجة الحرارة على المجس الأول مقارنة مع المجس الثاني $T_1 < T_2$

يكون التيار $I_1 < I_2$ أي يكون التيار I سالباً ويكون الجهد على المخرج سالباً .

$$I = (I_1 - I_2)$$

$$V = I_R$$

يمكن وصل فولتميتر على مخرج مكبر العمليات، أو توصيل دارتين واحدة تعمل على الجهد الموجب والأخرى تعمل على الجهد السالب لمعرفة فرق درجات الحرارة .

الأسئلة:

س١ ضع إشارة (✔) أو إشارة (✖) أمام العبارات التالية :

١- ارتفاع درجات الحرارة يؤدي إلى زيادة حركة الجزيئات في المادة .

٢- قدرة المواد على التوصيل الحراري متشابهة .

٣- جميع المواد التي درجة حرارتها فوق الصفر المطلق تطلق طاقة إشعاعية .

٤- يعتمد طول الموجات التي يشعها أي جسم على درجات الحرارة فكلما كانت درجة حرارة الجسم أعلى كانت الموجات أطول .

٥- يتناسب فرق الجهد على طرفي الازدواج الحراري تناسباً طردياً مع درجات الحرارة .

٦- الازدواج الحراري من نوع K يعمل بشكل جيد في الأوساط المختزلة .

٧- الازدواج الحراري المعزول سريع الاستجابة ويوفر عازلية جيدة .

٨- العلاقة بين الجهد المتولد على طرفي الازدواج الحراري ودرجات الحرارة علاقة غير خطية .

٩- الكواشف الحرارية ذات معامل حراري موجب .

١٠- علاقة الحرارة مع المقاومة للكاشف الحراري من نوع النيكل علاقة خطية .

١١- الثيرمستور نوع NTC مقاومته تنخفض بانخفاض درجات الحرارة .

١٢- علاقة مقاومة الثيرمستور من نوع PTC مع درجات الحرارة غير خطية .

١٣- المدى الحراري للثيرمستور من نوع NTC أكبر من المدى الحراري للكواشف الحرارية .

١٤- المجس الحراري LM135 يعمل على التحكم في التيار المار عبره مع درجات الحرارة .

١٥- المدى الحراري للمجس LM135 أقل من المدى الحراري للازدواج الحراري .

١٦- المجس الحراري AD590 يعمل على رفع الجهد على طرفيه مع ارتفاع درجة الحرارة .

س٢ عرف كلاً من :

أ- الحرارة .　　ب- الازدواج الحراري .

جـ- الكواشف الحرارية .　　د- الثيرمستور .

هـ- دارة التعويض .

س٣ علل ما يلي :

١- يستخدم الازدواج الحراري في التحكم الصناعي بشكل كبير .

٢- لا يستخدم الثيرمستور في دارات القدرات العالية .

٣- توصل المجسات AD590 على التوالي في بعض الدوائر .

س٤ قارن بين :

١- الازدواج الحراري من نوع J ومن نوع E .

٢- الكواشف الحرارية من نوع النحاس ومن نوع البلاتين .

س٥ عدد كلاً مما يلي :-

١- طرق انتقال الحرارة .

٢- ميزات أجهزة القياس غير الكهربائية .

٣- ميزات أجهزة القياس الكهربائية .

٤- ميزات الازدواج الحراري .

٥- أنواع تغليف الازدواج الحراري.

٦- أنواع الكواشف الحرارية .

٧- خصائص الكواشف الحرارية .

٨- أشكال الثيرمستور .

٩- ميزات الثيرمستور

١٠- مواصفات المجس الحراري AD590 .

س٦ مستعيناً بالرسم اشرح طريقة عمل الدارات التالية :

١- دارة ميزان حراري إلكتروني باستخدام الكاشف الحراري .

٢- دارة إنذار حريق باستخدام ثيرمستور من نوع NTC .

٣- دارة إنذار حريق باستخدام المجس LM135 .

٤- دارة لحفظ درجة الحرارة بين قيمتين (مثل 35 درجة مئوي – 55 درجة مئوي) .

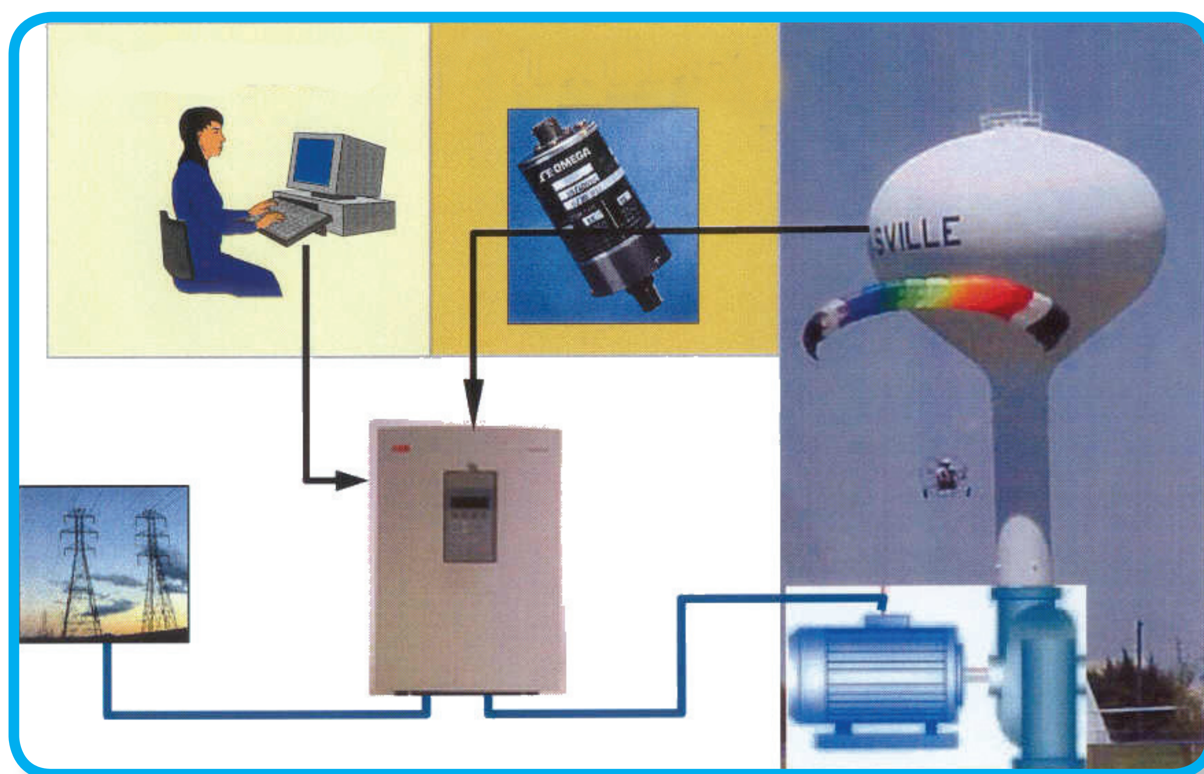
٥- دارة فقاسة بيض باستخدام المجس AD590 .

س٧ احسب قيمة مقاومة الكاشف الحراري من نوع النحاس على درجة حرارة 50 درجة مئوي إذا علمت أن مقاومته عند الصفر المئوي Ro= 10Ω **علماً بأن** الثابت الحراري الأول للنحاس a=0.0042

الوحدة

٥

أنظمة التحكم



أنظمة التحكم

تلعب أنظمة التحكم دوراً أساسياً في حياتنا، فهي موجودة داخلنا وحولنا. فثبات درجة حرارة الإنسان، وتغير اتساع حدقة العين للتحكم بكمية الضوء الداخل إلى الشبكية وغيرها هي نتيجة لوجود أنظمة تحكم بيولوجي داخل جسم الإنسان. ونشاطات الإنسان مثل المشي أو ادخال خيط في ثقب إبرة، أو قيادة السيارة هي نتيجة أنظمة تحكم يقوم فيها الدماغ بدور المتحكم. بالإضافة إلى أنظمة التحكم التي تنظم حرارة المكواة أو تبريد الثلاجة أو تتابع خطوات الغسالة الأوتوماتيكية والآلات الصناعية.

ويمكن تعريف نظام التحكم بأنه مجموعة من العناصر المرتبطة بعضها مع بعض تقوم بالتحكم بقيمة متغير (فيزيائي) معين عن طريق معالجة أو تنظيم قيمة متغير من متغيرات النظام.

ومن المتغيرات التي يتم التحكم بها: الإزاحة، والسرعة، ودرجة الحرارة، وشدة الضوء، والضغط . . . والتتابع. فعلى سبيل المثال، في نظام التحكم بسرعة محرك تيار مستمر، يكون المتغير المراد التحكم بقيمته هو السرعة، ويتم ذلك عن طريق التحكم بقيمة متغير آخر، وهو الجهد الواصل إلى طرفي المنتج للمحرك.

خصائص نظم التحكم:

إذا كانت القيمة الحالية للمتغير في أي نظام تحكم مساوية أو قريبة من القيمة المطلوبة، فإن هذا النظام يعمل بشكل صحيح وفعال. وبشكل عام فإن هناك بعض الخصائص التي تؤخذ بعين الاعتبار عند الحكم على أداء أنظمة التحكم منها:

- الاستقرارية (Stability): أي أن قيمة خرج المتحكم تصل إلى قيمة محددة ثابتة بعد زمن معين من تطبيق إشارة الدخل. فإذا استقرت قيمة خرج المتحكم ولم تتغير مع الزمن فإنه يقال إن النظام مستقر. إما إذا استمرت قيمة خرج المتحكم في الزيادة أو التذبذب مع الزمن فإنه يقال إن النظام غير مستقر.
- الدقة (Accuracy): وهي مقياس لمقدار انحراف القيمة الحالية للمتغير عن القيمة المطلوبة في نظام التحكم. وتتفاعل كل من الدقة والاستقرارية بعضهما مع بعض في نظم التحكم العملية، إذ إننا قد نفقد الاستقرارية إذا حاولنا زيادة الدقة، والعكس صحيح.
- سرعة الاستجابة (Speed Of Response): وهي مقياس لسرعة وصول نظام التحكم إلى القيمة النهائية المستقرة بعد تطبيق إشارة الدخل. أي أن النظام يعود بسرعة معقولة إلى القيمة المطلوبة عند حصول تغيرات أدت إلى تغير خرج النظام.
- الحساسية (Sensitivity): وهي مقياس لمدى حساسية خرج النظام للتغيرات في كل من قيم العناصر المكونة له والظروف المحيطة (التشويشات الخارجية).

■ تصنيف نظم التحكم :

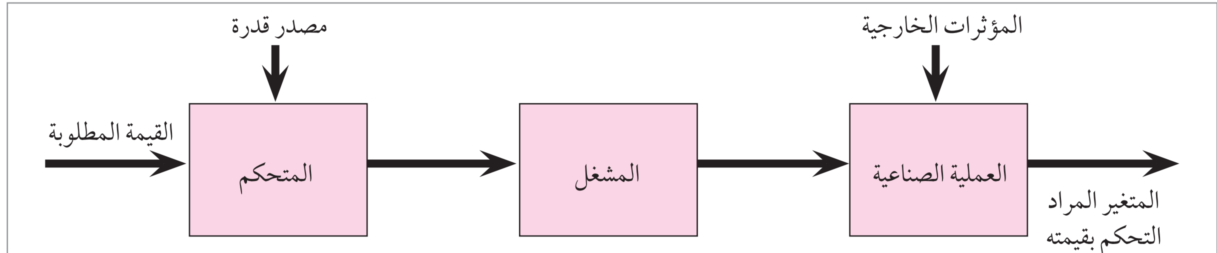
يتم تصنيف نظم التحكم اعتماداً على خصائص عدة منها : وجود التغذية الراجعة ، ودور الإنسان في التحكم ، نوعية الإشارات المستخدمة ، والتطبيقات المختلفة أو حسب الطاقة المستخدمة وغيرها .

١- وجود التغذية الراجعة :

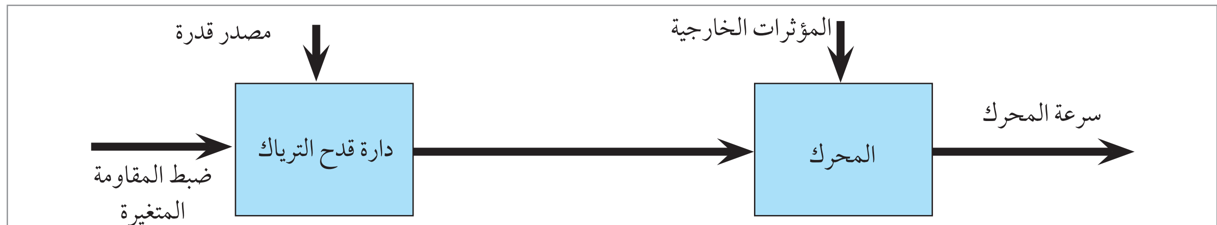
تصنف نظم التحكم حسب استعمال التغذية الراجعة إلى :

أ- أنظمة تحكم ذات حلقة مفتوحة :

في هذه الأنظمة لا تتم مقارنة القيمة الحالية للمتغير مع القيمة المطلوبة لتحديد مخرج المتحكم . وتتم عملية التحكم عادة عن طريق «ضبط» أو «تعيير» المتحكم (المشغل) لتحديد قيمة الطاقة الداخلة أو المتغير المؤثر في الخرج وبالتالي التحكم بقيمة المتغير المراد التحكم به ، ومن الأمثلة على هذا النظام نظام التحكم بسرعة محرك عام باستخدام دارة قدح الترياك بواسطة الدياك . فعند ضبط قيمة المقاومة المتغيرة للدارة فإن هناك جهداً ذا قيمة معينة يطبق على طرفي المحرك ، وبالتالي يدور المحرك بسرعة معينة . عند تغير الظروف الخارجية مثل جهد المصدر الداخل إلى الدارة أو الحمل الميكانيكي على المحرك فإن سرعة المحرك سوف تتغير . وكذلك فإن سرعة المحرك سوف تتغير عند حدوث تغيرات داخلية مثل تغير قيم المقاومات أو المواسعات . وفي كلا الحالتين فإنه للحفاظ على سرعة ثابتة فيجب إعادة ضبط أو تعيير المقاومة المتغيرة في كل حالة . ويبين الشكل(١) المخطط الصندوقي لنظام التحكم ذي الحلقة المفتوحة بشكل عام وللمثال المذكور .



مخطط عام



الشكل (١) : مخطط صندوقي لدارة التحكم بسرعة محرك عام

نلاحظ من الشكل أنه لا يوجد أي ربط بين مخرج النظام (سرعة المحرك) ومدخله (قيمة زاوية القدح المحددة حسب المقاومة المتغيرة) ، وبالتالي لا يوجد أي تأثير من المخرج على مدخل النظام .

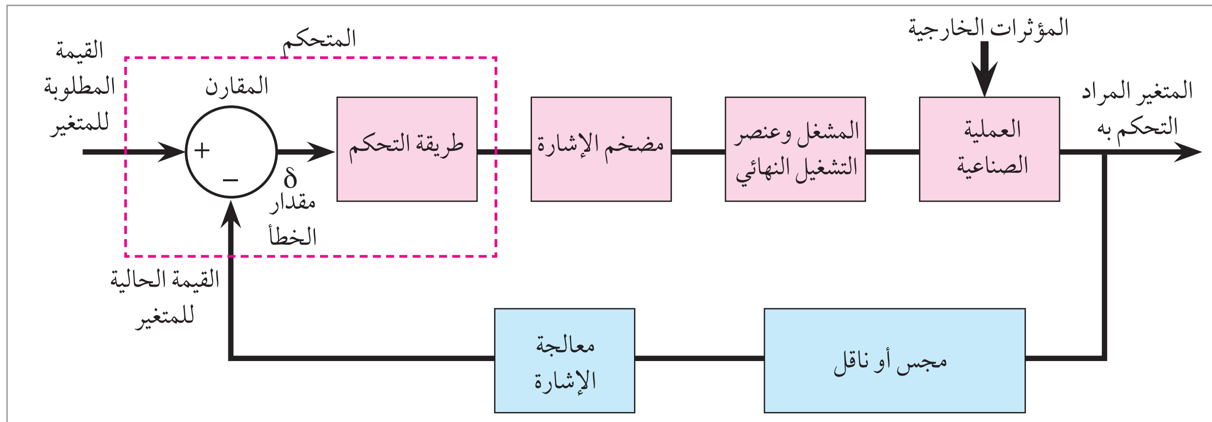
مما سبق نستنتج أن هذا النظام يعطي نتائج مقبولة في حالات التحكم التي تكون فيها ظروف التشغيل الخارجية ثابتة ومستقرة إلى حد ما، وكذلك التغيرات الداخلية في النظام قليلة .

ومن مميزات هذا النظام بساطة التركيب وقلة التكاليف . ومن مساوئه أنه لايستطيع تعديل الاخطاء الناتجة عن المؤثرات الخارجية أو الأحمال غير المتوقعة أو التغيرات الداخلية في النظام، مما يجعل خرج النظام غير ثابت عند القيمة المطلوبة .

ب- أنظمة تحكم ذات حلقه مغلقة :

تمتاز هذه الأنظمة بوجود تغذية راجعة من المخرج أو جزء منه إلى المدخل . ويبين الشكل(٢) المخطط الصندوقي لنظام تحكم ذي حلقة مغلقة .

يقوم المجس بتحسس المتغير الذي يراد التحكم بقيمته، ومن ثم يحولها إلى شكل يناسب نوعية نظام التحكم . ويلزم في العادة معالجة إشارة المجس أو الناقل والذي قد يكون ازدواجا حراريا لقياس درجة الحرارة، مقياس انفعال لقياس الوزن أو تاكوميتر لقياس السرعة وغيرها من المجسات . وذلك لتكبير الإشارة من جهة ومعالجة الإشارة، بحيث تكون قيمة المتغير وشكلها (تيار، جهد، «متردد أو مستمر») مناسبة لنقلها ومعالجتها من قبل المقارن .



شكل (٢):

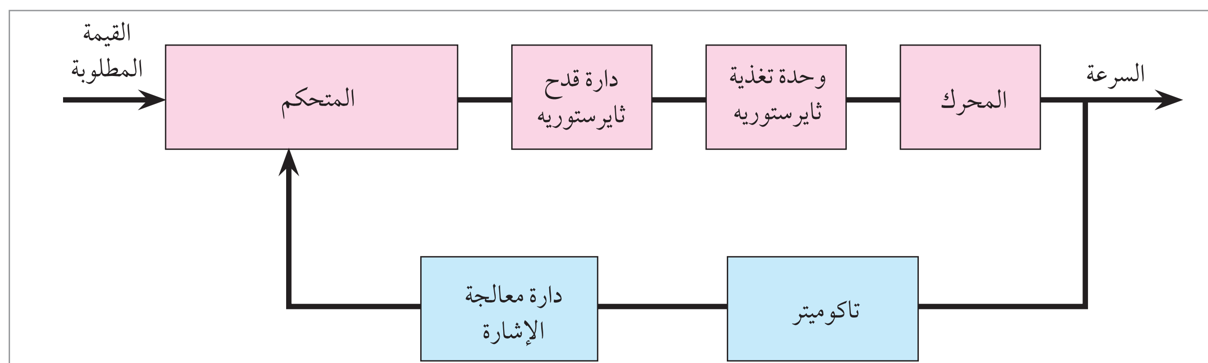
يقوم المقارن الذي قد يكون ميكانيكياً أو إلكترونيا وذلك حسب نوعية نظام التحكم بمقارنة القيمة المقاسة (الحالية) للمتغير مع القيمة المطلوبة ومن ثم يقوم بتوليد إشارة الخطأ التي تمثل الفرق بين القيمة المطلوبة والقيمة الحالية للمتغير .

قيمة الخطأ δ = القيمة المطلوبة – القيمة الحالية (المقاسة)

يقوم المتحكم بمعالجة إشارة الخطأ حسب طريقة التحكم (نوع المتحكم) ثم يقوم بإخراج إشارة إلى المشغل بحيث يتم تقليل الخطأ لجعل القيمة الحالية مساوية للقيمة المطلوبة . ويلزم في الغالب تضخيم هذه الإشارة قبل تطبيقها على المشغل . والمشغل يمكن أن يكون محركاً كهربائياً يقوم بالتحكم بفتحة صمام أو إغلاقها، أو تحريك جسم معين باتجاه معين . وقد يكون المشغل ملف صمام أو مفتاحاً تلامسياً أو ثايرستوراً أو ترياكاً يقوم

بالتحكم بالقدرة الواصلة إلى الحمل عن طريق عناصر التشغيل النهائية كالسخانات والمحركات.

ويبين الشكل نظاماً للتحكم بسرعة محرك تيار مستمر ذي حلقة مغلقة. يتم عن طريق التحكم بزاوية القدح للثايرستورات تغيير قيمة الجهد الواصل إلى طرفي المحرك وبالتالي سرعة المحرك. وتتحدد زاوية القدح حسب جهد التحكم الخارج من المتحكم الذي يعتمد على قيمة كل من سرعة المحرك الفعلية التي يقيسها التاكوميتر والسرعة المطلوبة.



شكل ():

ومن أهم المميزات التي يوفرها نظام التحكم ذو الحلقة المغلقة ما يلي:

- الدقة في الأداء.
- سرعة الاستجابة للنظام.
- تناقص التأثيرات الناتجة من التشويش أو الإضطراب المؤثرة في النظام.
- تناقص الحساسية لتغيرات عناصر النظام وخصائصة.

طرق التحكم (أنواع المتحكمات)

يقوم المتحكم بعد حساب قيمة الخطأ بواسطة المقارن بمعالجة إشارة الخطأ بعدة طرق. وبناءً على هذه المعالجة يقوم المتحكم بإخراج إشارة التحكم إلى المشغل من أجل تقليل قيمة الخطأ وجعل القيمة الحالية للمتغير المراد التحكم به مساوية أو أقرب ما يمكن إلى القيمة المطلوبة. وتسمى طرق التحكم بعدة أسماء مثل (أنواع المتحكمات) أو (أنماط التحكم).

١- المتحكمات ثنائية الموضع (ON-OFF)

- يكون الخرج في هذه الحالة إحدى قيمتين تتحدد كل منهما بناءً على إشارة الخطأ. أي أن خرج المتحكم يكون إما تشغيل المشغل أو إطفاء المشغل حسب إشارة الخطأ، ويجب أن تتضمن استجابة هذا المتحكم وجود الخلفيه لضمان عدم تلف المشغل بسبب إمكانية تذبذب المتحكم بشكل سريع ومتكرر عند القيمة المطلوبة.

- من مميزات هذا المتحكم بساطة التركيب ورخص التكاليف .
- ومن مساوئه أن خرج العملية الصناعية يتذبذب حول القيمة المطلوبة .

٢- المتحكمات التناسبية (Proportional Controllers)

- يكون خرج المتحكم متناسباً مع إشارة الخطأ ، أي أن خرج المتحكم

$$V_o = K_p \delta$$

- يمتاز هذا المتحكم بسهولة التنفيذ والاستقرارية .
- ومن مساوئه وجود انحراف عن القيمة المطلوبة ، وهذا الانحراف يتناسب عكسياً مع K_p . ولكن يجب الانتباه أن زيادة K_p إلى قيم عالية قد تسبب تذبذباً في خرج النظام .

٣- المتحكمات التكاملية : (Integral Controllers)

- يكون خرج المتحكم في هذا النوع :

$$V_o = K_I \int_0^t \delta \, dt$$

أي أن الخرج يتناسب مع تكامل إشارة الخطأ مع الزمن .

- يمتاز هذا المتحكم بقدرته على إلغاء الانحراف عن القيمة المطلوبة حيث إن خرج المتحكم يستمر في التغير حتى وصول الخطأ إلى الصفر .
- ومن مساوئه أن استجابته بطيئة ، ويمكن أن تسبب تذبذباً في خرج النظام في بعض التطبيقات .

٤- المتحكم التناسبي - التكاملي (Proportional Integral Controller)

- يجمع هذا المتحكم فعل التحكم التناسبي - التكاملي . ويكون خرج المتحكم

$$V_o = Kp \, \delta + K_I \int_0^t \delta \, dt$$

- يمتاز هذا المتحكم بوجود سرعة استجابة عابرة جيدة بسبب وجود المتحكم التناسبي وكذلك انحراف صغير في إشارة الخرج بسبب وجود المتحكم التكاملي . ولكن يمكن أن يسبب تذبذباً في خرج العملية الصناعية في بعض الأنظمة .

٥- المتحكم التفاضلي (Derivative Controllers)

- لا يستخدم هذا المتحكم وحده ، ولكن يستخدم إما مع المتحكم التناسبي أو المتحكم التكاملي . يكون خرج المتحكم متناسباً مع التغير في إشارة الخطأ مع الزمن .

$$V_o = K_d \, d\delta/dt$$

- يتميز هذا المتحكم باستقرارية عالية . كما أن استجابته للتغيرات سريعة، ويقوم هذا المتحكم بتوقع الخطأ من خلال معدل التغير الحاصل على الخطأ ويقوم بالاستجابة السريعة مع الخطأ الحاصل .
- من مساوئه إمكانية تضخيم إشارات التشويش سريعة التغير، وكذلك إمكانية وصول المشغل إلى حالة التشبع .

٦- المتحكم التناسبي - التفاضلي (Proportional-Derivative Controller)

- يجمع هذا المتحكم فعل المتحكم التناسبي والتفاضلي، ويكون خرج المتحكم .

$$V_o = Kp\delta + Kd\, d\delta/dt$$

- ويتميز هذا المتحكم باستقرارية عالية، وسرعة الإخماد للتغيرات .

٧- المتحكم التناسبي - التكاملي - التفاضلي (Proportional Integral derivative Controller) (PID)

- يجمع هذا المتحكم فعل التحكم التناسبي التكاملي التفاضلي ويكون خرج المتحكم .

$$V_o = K_P\delta + Kd\, d\delta/dt + K_I \int_0 \delta\, dt$$

- وهو يجمع مميزات المتحكمات الثلاثة، ويستخدم في العمليات الصناعية التي تحدث بها تغيرات كبيرة وسريعة، بحيث أن المتحكمات السابقة غير قادرة على جعل الفرق بين القيمة المطلوبة والقيمة الحالية للمتغير ضمن الحدود المقبولة، وخصوصاً في الأنظمة ذات القصور الكبير التي تحتاج استجابة عابرة سريعة ومؤثرة للتغيرات المفاجئة، وهو أكثر المتحكمات شيوعاً .

٢- دور الإنسان في التحكم :

تقسم نظم التحكم إلى :

أ) **نظم تحكم يدوية** : يقوم الإنسان في هذه الأنظمة بدور المتحكم أحياناً، وباستعمال الأعضاء المختلفة بدور عناصر أخرى في نظام التحكم مثل المجس والمشغل، وتمتاز هذه الطريقة بالسهولة وقلة التعقيد التقني، ولكن من الناحية الأخرى فإن للتحكم اليدوي مساوئ منها :

- عدم الدقة .
- التاثر بحالة العامل النفسية والجسدية من ملل وإرهاق وعدم انتباه .
- عدم الحصول على أداء متماثل باختلاف العنصر البشري القائم على التحكم .
- لايمكن استخدامه في الظروف البيئية القاسية أو الخطرة على حياة الإنسان .

ب) **نظم تحكم آلية** : يتم التحكم بالعملية الصناعية آلياً ودون تدخل الإنسان وذلك باستخدام جهاز (أو مجموعة أجهزة تقوم بمهمة المراقبة والمقارنة والتحكم . وتمتاز أنظمة التحكم الآلية عن اليدوية :

- سرعة الاستجابة : حيث تستطيع التعامل مع الأحداث والتغيرات التي تحصل في أجزاء صغيرة من الثانية .
- يمكن استخدامها في التطبيقات المختلفة التي لايستطيع الإنسان القيام بها بسبب الظروف البيئية القاسية أو الخطرة مثل التطبيقات النووية أو الكيماوية .
- لا تتأثر بالعوامل المؤثرة على فعالية الإنسان مثل الإرهاق وضعف الأداء مع الزمن .
- الحصول على أداء متماثل لايختلف باختلاف العنصر البشري القائم على التحكم
- الأنظمة الآلية أكثر اقتصادية .
- زيادة الإنتاجية .

٣- نوعية الإشارات المستخدمة :

تصنف الإشارات بشكل عام وتلك المستخدمة في نظم التحكم إلى :

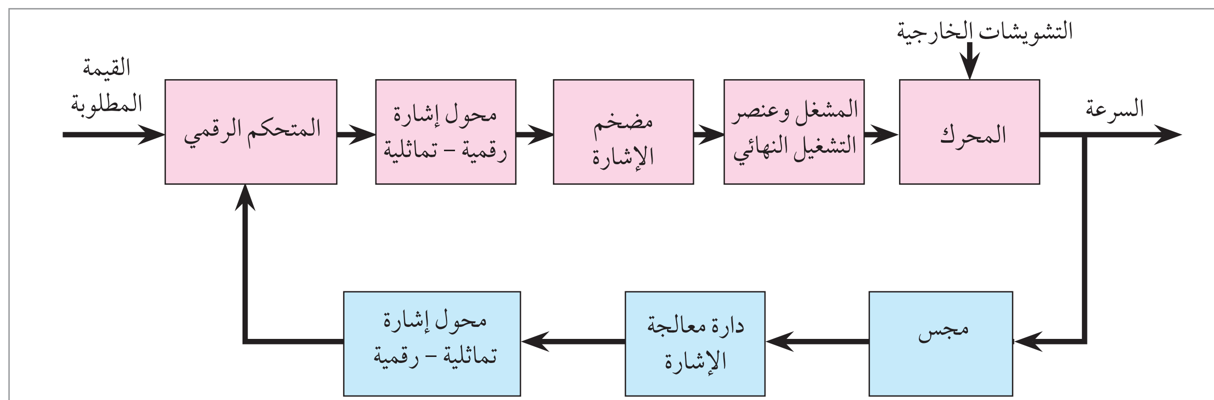
١- إشارات تماثلية : وهي إشارات متصلة تأخذ أي قيمة بين القيمتين العليا والدنيا .

٢- إشارات رقمية : وتأخذ الإشارة فيها قيماً محددة بين القيمتين العليا والدنيا .

واعتماداً على هذه الإشارات يمكن تصنيف نظم التحكم إلى :

أ- **أنظمة تحكم تماثلية** : حيث تستخدم عناصر وطرق معالجة الإشارات التماثلية في نظم التحكم . وتستخدم في هذه الأنظمة المكبرات ومضخمات العمليات وغيرها لمعالجة الإشارات التماثلية في نظام التحكم .

ب- **أنظمة تحكم رقمية** : حيث تستخدم عناصر وطرق معالجة الإشارات الرقمية في نظم التحكم ، وقد انتشرت هذه الأنظمة بسبب انتشار المعالجات والمتحكمات الدقيقة في الصناعة ، وتستخدم في هذه الأنظمة محولات الإشارات الرقمية – التماثلية (DAC) ومحولات الإشارات التماثلية – الرقمية (ADC) من أجل مواءمة هذه الأنظمة مع العالم الحقيقي الذي تأخذ فيه المتغيرات المختلفة قيماً تماثلية ، الشكل(٣) .



شكل (٣):

٤- حسب التطبيقات المختلفة:

أ- أنظمة السيرفو (Servomechanisms) وهي أنظمة ذات حلقة مغلقة، التي يكون فيها المتغير المراد التحكم هو الموضع أو السرعة، ومن الأمثلة على هذه الأنظمة، نظام التحكم بسرعة محرك تيار مستمر أو متغير ونظام التحكم بالموضع لمحرك خطوة.

ب- أنظمة التحكم التتابعية إذا كانت عملية التحكم هي عبارة عن سلسلة من الخطوات المحددة مسبقاً، فإن هذا النظام يسمى نظام تحكم تتابعي، ويمكن تصنيف هذه الأنظمة إلى:

١- التحكم المتتابع الأحداث (Event Sequenced Control) في هذا النظام كل خطوة تبدأ بعد حدوث حدث معين. وقد يكون الحدث عبارة عن تشغيل ضاغط كهربائي أو إغلاق مفتاح حدي، أو عمل مفتاح يعمل بالحرارة أو بالضغط.

٢- التحكم المتتابع بالزمن (Time Sequenced Control) في هذا النظام تبدأ كل خطوة عند زمن معين أو بعد زمن معين ويمثل نظام التحكم بالإشارات الضوئية في الشوارع مثالا لهذا النظام.

٣- التحكم المتتابع بالأحداث / الزمن: في هذا النظام تبدأ كل خطوة إما بعد زمن معين من حدوث حدث معين، أو بعد حدوث حدث معين. ويمكن اعتبار الغسالة الكهربائية مثالاً لذلك، فعند انتهاء عملية تعبئة الماء وإعطاء إشارة بذلك من مفتاح المستوى، تبدأ عملية التسخين والتقليب، ثم عند الوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة تبدأ عملية الغسيل والتنشيف بتتابع زمني معين حسب البرنامج المطلوب.

جـ- أنظمة التحكم الرقمية بالحاسوب (CNC) (Computerized-Numerical Control) وهو نظام تحكم رقمي يستخدم تعليمات محددة سلفاً للتحكم بسير عمليات التصنيع. وهذه التعليمات يتم ترميزها كقيم عددية وتخزينها في ذاكرة الحاسوب. وتقوم آلات (CNC) بعمليات الخراطة والتفريز والتثقيب والقطع.. وغيرها.

د- أنظمة التحكم بالإنسان الآلي (Robotics).

هـ- المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) وسيتم دراسة هذا المتحكم بالتفصيل في الدروس اللاحقة.

٥- حسب الطاقة المستخدمة:

وتصنف إلى:

أ- **أنظمة تحكم كهربائية**: ومن الأمثلة على هذه الأنظمة أنظمة التحكم بحرارة المياه في السخانات الكهربائية أو حرارة الانصهار في أفران الصهر الكهربائية. وهناك أيضاً أنظمة التحكم بسرعة المحركات الكهربائية، حيث يتم التحكم بالجهد الواصل إلى المحرك أو بتردد المصدر حسب نوع المحرك.

ب- **أنظمة تحكم هيدرولية**: وهي تستخدم طاقة الزيت المضغوط لتحويلها إلى طاقة ميكانيكية، وتمتاز

بإمكانية الحصول على قوة ميكانيكية كبيرة .

جـ- **أنظمة تحكم هوائية** : وهذه النظم تستخدم طاقة الهواء المضغوط لتحويلها إلى طاقة ميكانيكية للاستفادة منها في العمليات الصناعية .

وتحتوي الأنظمة الهوائية على العناصر التالية :

١- وحدات اعداد الهواء المضغوط الجاف والنظيف وتشمل :

أ- الضواغط الهوائية (Compressors) : وهي تقوم بتوليد الهواء المضغوط اللازم في عمليات التحكم الهوائية . وتدار بمحركات كهربائية تعمل على وجه واحد أو ثلاثة أوجه . وتخرج الهواء المضغوط من خط الطرد بضغوط تتراوح بين (1-10) ضغط جوي أو أكثر .

ب- عناصر تجفيف الهواء المضغوط : ويتم ذلك بخفض درجة حرارة الهواء وذلك لتكثيف بخار الماء منه . ويتم ذلك بعدة طرق منها استخدام المبردات باستعمال غاز الفريون وغيره .

جـ- وحدات الخدمة : وتوضع في مدخل الهواء المضغوط عند كل آلة أو معدة وتقوم هذه الوحدة بإعادة تنظيف الهواء المضغوط من الأتربة وفصل الماء الموجود فيه وتقوم أيضاً بتنظيم ضغوط الهواء المضغوط عند الاحمال مهما تغيرت ظروف الأحمال . وأخيراً تقوم هذه الوحدة بتشبيع الهواء المضغوط ببخار الزيت من أجل تزييت الأجزاء المنزلقة داخل عناصر التحكم الهوائية لحمايتها من التآكل .

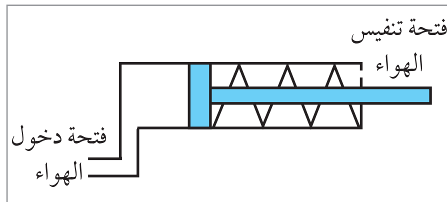
٢- عناصر نقل القدرة الهوائية وتشمل خطوط التوصيل (أنابيب ومواسير) الصلبة والمرنة وأدوات التوصيل المقلوظة أو الوصلات السريعة .

٣- عناصر الفعل (الحركة) ومنها :

أ- الأسطوانات الهوائية : وهي تقسم إلى نوعين رئيسيين :

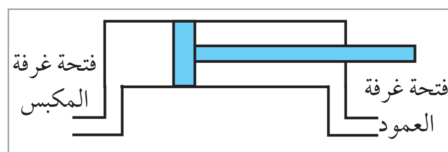
- أسطوانات أحادية الفعل : وهي أسطوانات قادرة على إعطاء قوة دفع في اتجاه الذهاب فقط ، وتحتوي هذه الأسطوانة على فتحة واحدة لدخول الهواء ، فعند وصول الهواء المضغوط من فتحة الأسطوانة يندفع المكبس الموجود داخل الأسطوانة للأمام وعند انقطاع الهواء المضغوط من الفتحة يعود المكبس للخلف بفعل زنبرك الإرجاع . الشكل(٤) .

- أسطوانات ثنائية الفعل : وهي أسطوانات تعطي قوة دفع للأحمال في اتجاه الذهاب والعودة . وتحتوي هذه الأسطوانات على فتحتين ، فعند دخول الهواء المضغوط من فتحة غرفة المكبس تتقدم الأسطوانة للأمام ليخرج الهواء الموجود أمام المكبس من فتحة غرفة العمود . وعند دخول الهواء المضغوط من فتحة غرفة العمود تتراجع



شكل (٤) :

الأسطوانة للخلف، الشكل(٥).



شكل (٥)

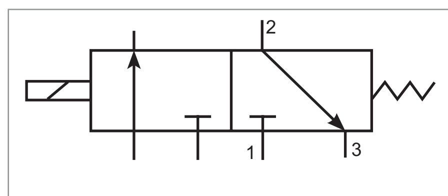
ب- المحركات الهوائية: يفضل استخدام هذه المحركات على المحركات الكهربائية في تطبيقات كثيرة وخصوصاً عند وجود مصدر للهواء المضغوط، ولاسيما في القدرات الصغيرة.

٤- عناصر التحكم الهوائية وتشمل:

أ- صمامات التحكم في التدفق وتقوم بالتحكم في اتجاه التدفق أو معدل التدفق أو كليهما وتستخدم للتحكم في سرعة الأسطوانات.

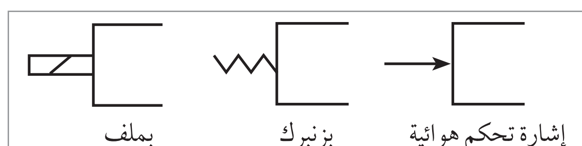
ب- صمامات التحكم في الضغط: حيث تقوم بالتحكم في ضغط الهواء المضغوط.

جـ- الصمامات الاتجاهية: وهي تقوم بتوجيه الهواء المضغوط عند الوقت المناسب بالطريقة التي تسمح بتشغيل أو إيقاف عناصر الفعل مثل دوران محرك هوائي أو حركة أسطوانة للأمام أو للخلف، الشكل (٦).



شكل (٦): صمام 3/2 بزنبرك وملف

يرمز لكل صمام اتجاهي بمستطيل مقسم إلى عدد من المربعات كل مربع يسمى وضع تشغيل. ويوضع على المحيط الخارجي لكل وضع تشغيل (مربع) أطراف التوصيل (فتحات) الصمام. ثم تحدد مسارات التدفق في كل وضع مجموعة من الأسهم التي تدل على اتجاه التدفق. ويستخدم الرمز T للإشارة إلى ان الفتحة مغلقة. ويوضع على جانب المستطيل المعبر عن وضع الصمام وسيلة تشغيل الصمام. الشكل (٧). ويتم تسمية الصمام الاتجاهي تبعاً لعدد أوضاع التشغيل وعدد الفتحات وطريقة تشغيل الصمام.



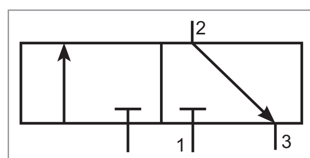
شكل (٧):

ويتم ترقيم أطراف الصمام إما بطريقة حرفية (قديمة) أو باستخدام رموز عددية (طريقة حديثة) كما في الجدول الآتي:

نوع أطراف التوصيل	الترقيم الحرفي	الترقيم العددي
أطراف توصيل الأسطوانات	A, B, C	2, 4, 6
طرف توصيل مصدر الهواء	P	1
أطراف التصريف (العادم)	R, S, T	3, 5, 7

وفيما يلي رموز أنواع مختلفة من الصمامات في أوضاع التشغيل المختلفة:

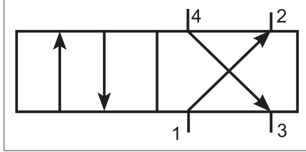
- الشكل(٨) يبين صمام اتجاهي 3/2 اي بوضعي تشغيل وثلاث فتحات.
- عندما يعمل الصمام في الوضع الأيمن تكون الفتحة 1 مغلقة والمسار



شكل (٨)

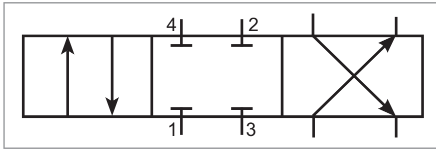
2 ← 3 مفتوح .

- وعندما يعمل الصمام في الوضع الأيسر تكون الفتحة 3 مغلقة والمسار 1← 2 مفتوح
- الشكل(٩) يبين صماماً اتجاهي 2 / 4 أي بوضعي تشغيل وأربع فتحات .
- عندما يعمل الصمام في الوضع الأيمن تكون المسارات في الصمام 1 ← 2 ، 4 ← 3.
- عندما يعمل الصمام في الوضع الأيسر تكون المسارات في الصمام 1 ← 4 ، 2 ← 3.



شكل (٩):

- الشكل(١٠) يبين صماماً اتجاهي 3 / 4 أي بثلاث أوضاع تشغيل وأربع فتحات .
- عندما يعمل الصمام في الوضع الأوسط (المركزي أو التعادل) تكون جميع فتحات الصمام مغلقة
- عندما يعمل الصمام في الوضع الأيمن فإن مسارات التدفق في الصمام 4 ← 3 ، 1 ← 2.
- عندما يعمل الصمام في الوضع الأيسر فإن مسارات التدفق في الصمام 2 ← 3، 1 ← 4.



شكل (١٠):

أنظمة التحكم بالآلات الصناعية

تخضع أنظمة التحكم بالآلات الصناعية في تركيبها وتصنيفاتها وخصائصها ضمن أنظمة التحكم التي تم شرحها في بداية هذه الوحدة. وستتناول هنا هذه الأنظمة فقط لتوضيح بعض الجوانب الخاصة المتعلقة بهذه الأنظمة من أجل تسهيل فهم تركيبها وتطورها مع الزمن كون هذه الأنظمة هي محل اهتمامنا في تخصص الإلكترونيات الصناعية. وتتكون أنظمة التحكم بالآلات الصناعية من العناصر الرئيسية التالية :

١- أجهزة نقل البيانات وعناصرها والأوامر : وهي بمثابة الحواس الخمس لنظام التحكم وتمثل إشارات الدخل لعملية التحكم، وهي تشمل الضواغط التي تعطي الأوامر المختلفة للآلة من تشغيل وإيقاف، وكذلك تشمل المجسات المختلفة التي تعطي معلومات عن وضع الآلة، مثل المفاتيح الحدية (Limit Switches) والتقاربية (Proximity Switch) والضوئية (Photoelectric Switch) التي تعطي معلومات عن مواضع الأجسام مثل أجزاء الآلة المختلفة أو القطع المنتجة بواسطة الآلة. بالإضافة إلى المفاتيح التي تعمل على الحرارة أو الضغط أو المشفرات (Encoders) التي تعطي معلومات عن الإزاحة أو السرعة أو اتجاه الحركة.

٢- أجهزة التحكم وعناصرها : وهذه العناصر أو الأجهزة تقوم باتخاذ القرارات لتشغيل عناصر الخرج أو المعالجة حسب المعلومات الواردة من أجهزة نقل البيانات وعناصرها والأوامر من جهة وتسلسل أو برنامج التحكم المطلوب من جهة أخرى. وقد تغيرت وتطورت هذه الأجهزة والعناصر بفعل التطور

الحاصل في الإلكترونيات . وتشمل هذه الأجهزة والعناصر :

أ- لوحات التحكم التقليدية باستعمال المرحلات والمؤقتات . . . .

ب- اللوحات الإلكترونية باستعمال الدارات المتكاملة الخطية والرقمية المختلفة .

جـ- اللوحات الإلكترونية باستعمال المعالجات أو المتحكمات .

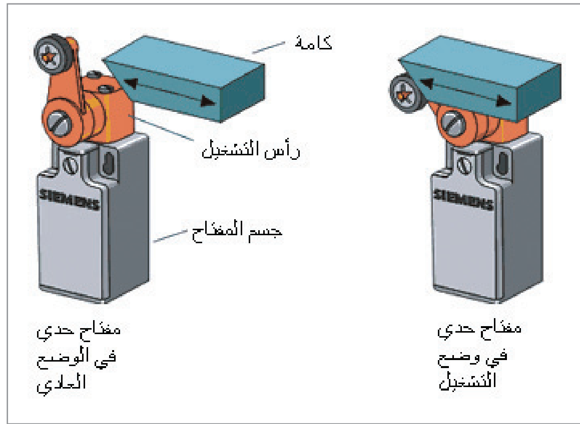
د- أجهزة التحكم المنطقي المبرمج (PLC) .

هـ- أجهزة الحواسيب الصناعية .

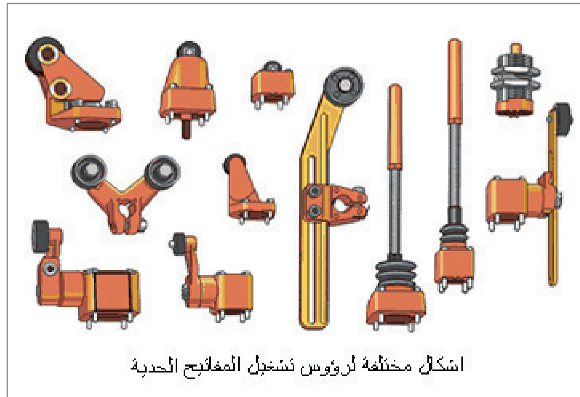
٣- عناصر الخرج أو المعالجة (Manipulation) وهي تشمل المشغلات (Actuators) مثل الصمامات والمفاتيح التلامسية والدارات الإلكترونية للتحكم بالقدرة وغيرها ، وعناصر التشغيل النهائية (Final Correcting Elements) مثل المحركات بأنواعها والسخانات والأسطوانات في الأنظمة الهوائية والهيدرولية .

المفاتيح الحدية (Limit Switches) :

المفتاح الحدي هو جهاز ميكانيكي يستخدم الاتصال الميكانيكي لإعطاء معلومات عن مواضع الأجسام مثل أجزاء الآلة المختلفة أو القطع المنتجة بواسطة الآلة . ويتكون هذا المفتاح من جسم المفتاح الذي يحتوي على تلامسات ، ومن رأس التشغيل الذي يقوم بتغيير وضع التلامسات عند وقوع الضغط عليه من الجسم المراد اكتشاف موضعه ، فتتحول تلامسات (NO) إلى مغلقة ، وتلامسات (NC) إلى مفتوحة . وعند رفع الضغط عن رأس التشغيل فإن التلامسات تعود إلى وضعها الأصلي ، الشكل (١١) . وعادة يتم تثبيت كامات في الأجسام المتحركة حتى تتمكن من الضغط على رأس التشغيل للمفتاح . ويوجد عدة أشكال لرأس التشغيل بالمفتاح ليناسب التطبيقات المختلفة ، الشكل (١٢) .



شكل (١١) :



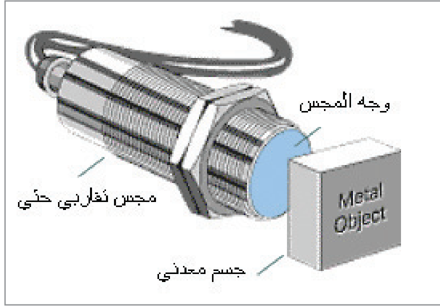
شكل (١٢) :

المفاتيح التقاربية (Proximity Switches) :

وهي تستخدم لاكتشاف وجود أجسام أمام المفتاح من دون أن يحدث هناك تلامس بين المفتاح والجسم . وتشمل هذه المفاتيح عدة أنواع منها الحثية والسعوية والضوئية والمغناطيسية ، وتلك التي تعمل على الترددات فوق الصوتية وغيرها . وسنتطرق هنا إلى :

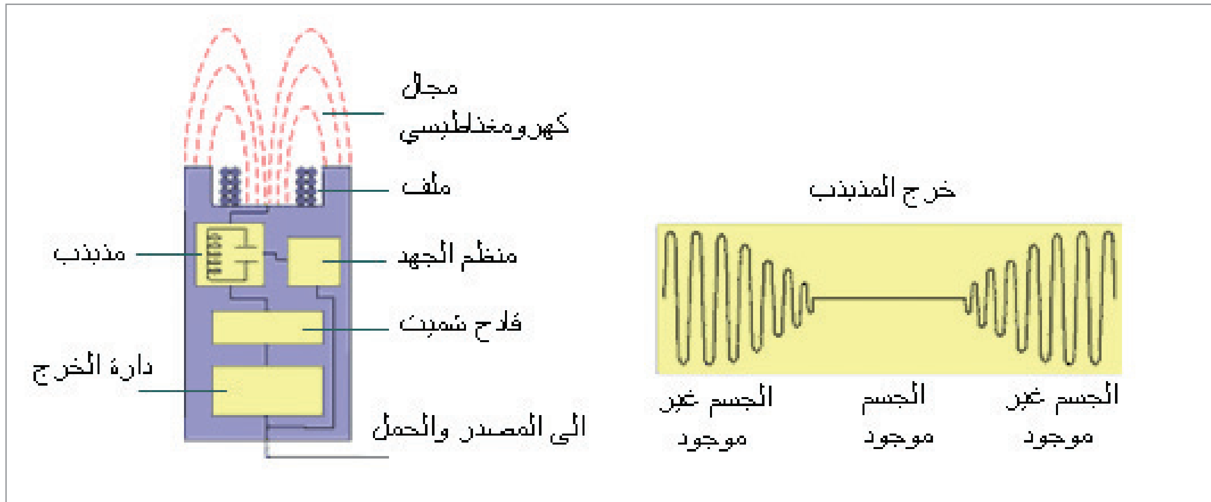
المجسات (المفاتيح) التقاربية الحثية (Inductive Proximity Sensors):

تستخدم هذه المجسات لاكتشاف وجود أجسام معدنية أمام المجس، حيث لا يقوم المجس باكتشاف وجود الأجسام غير المعدنية. يبين الشكل(١٣) أحد الأشكال الشائعة للمجس التقاربي الحثي.



شكل (١٣):

ويتكون هذا المجس من منظم جهد وملف ومذبذب وقادح شميت ودارة الخرج.



شكل (١٤):

ويعمل هذا المجس كما يلي :

١- يقوم منظم الجهد بالحفاظ على قيمة الجهد اللازم لعمل الدارات الإلكترونية داخل المجس ثابتة بغض النظر عن التغيرات في جهد الدخل (تعمل بعض المجسات على 10-30Vdc).

٢- يقوم المذبذب المكون من ملف (يقع عند وجه المجس) ملفوف على قلب ومواسع الذي يعمل على ترددات عالية (RF) بتوليد مجال كهرومغناطيسي ينفذ من سطح وجه المجس. وتكون التغذية الراجعة الموجبة، التي تقوم بتشغيل المذبذب بالقدر اللازم للحفاظ على حالة التذبذب فقط.

٣- عند وجود جسم معدني أمام المجس بحيث يقع ضمن المجال الكهرومغناطيسي الخارج من سطح المجس، فإنه يتولد داخل الجسم المعدني تيارات إعصارية تمثل حملاً كهربائياً على دارة المذبذب، مما يتسبب في انخفاض اتساع موجة المذبذب أو توقف المذبذب عن العمل.

٤- تقوم دارة قادح شميت باكتشاف انخفاض اتساع الموجة الناتجة عن المذبذب عن حد معين فتعطي اشارة بذلك تأخذ إحدى حالتين (1، 0).

٥- تصل إشارة خرج دارة القادح إلى دارة الخرج التي تقوم بتشغيل ترانزستور الخرج الذي يقوم بتشغيل الحمل (مرحل مثلا) .

٦- عند ابتعاد الجسم المعدني من أمام المجس يعود وضع خرج المجس إلى الوضع العادي .

وهناك من هذه المجسات ما يعمل على مقررات جهد متغير(AC) أو جهد مباشر(DC) وضمن مدى جهد واسع . مثل (10-30VDC) وهو أشهر الأنواع ، أو (20-265VAC) ، (10-65VDC) وغيرها .

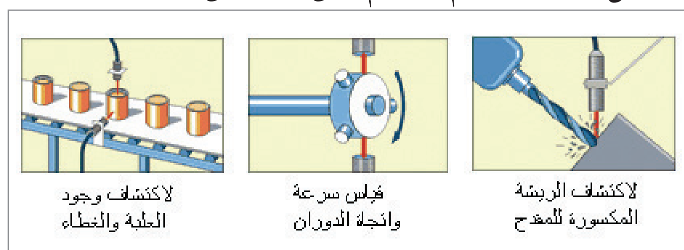
وتوجد المجسات التقاربية الحثية بأشكال مختلفة وبأقطار مختلفة بالنسبة للنوع الأسطواني . وتتراوح مسافة عمل المجس بين بضع ميليمترات وبضع عشرات من الميليمترات .

يعتمد مدى العمل (حساسية المجس) الذي يقوم ضمنه المجس باكتشاف وجود الأجسام المعدنية على :

١- نوع المعدن : حيث يكون أكبر ما يمكن للمواد المغناطيسية مثل الحديد الطري، ويقل مع المعادن الأخرى كالنحاس والألمنيوم .

٢- حجم الجسم وشكله : حيث يقل مدى العمل بنقصان حجم الجسم (عن حد معين) .

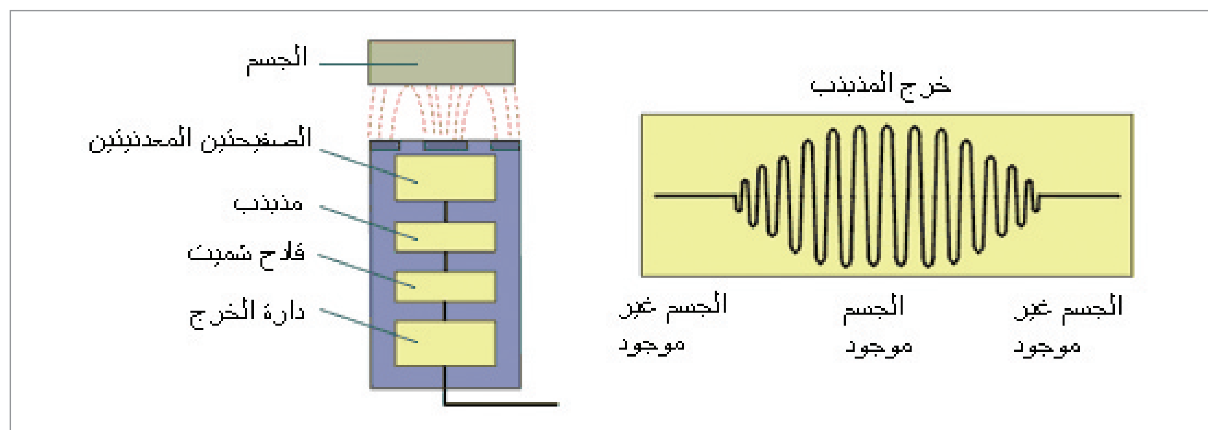
يبين الشكل(١٥) بعض التطبيقات لهذا المجس .



شكل (١٥):

المجس التقاربي السعوي (Capacitive Proximity Sensor):

يقوم هذا المجس باكتشاف وجود الأجسام سواء كانت معدنية أو غير معدنية ، صلبة أو سائلة وذلك بالاعتماد على مبدأ تغير السعة الكهربائية عند وجود الأجسام ضمن منطقة الجس . وهو يشبه في شكله وحجمه وطريقة عمله المجس التقاربي الحثي أعلاه . ويبين الشكل (١٦) تركيب هذا المجس .



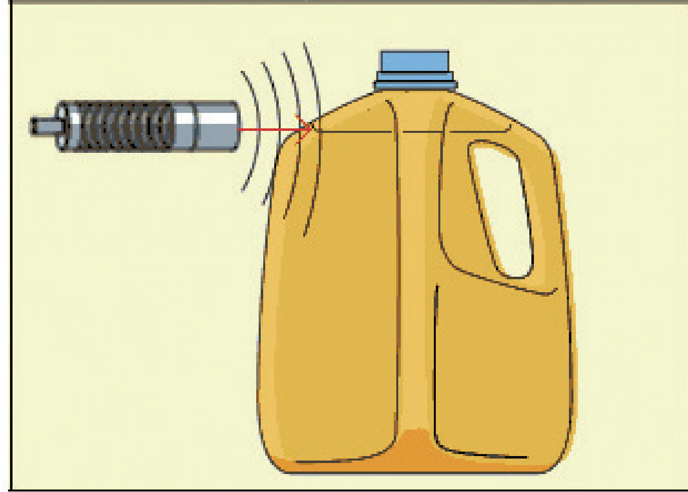
شكل (١٦):

يتكون السطح الحساس من هذا المجس من أقطاب مجمعة بحيث تكون مجالاً كهروستاتيكياً أمام وجه المجس الحساس. عند دخول الأجسام ضمن هذا المجال فإن السعة الكهربائية ستزيد وذلك حسب مسافة الجسم عن المجس وحجم الجسم وثابت العزل للجسم. فإذا زادت السعة بالمقدار الكافي فإن المذبذب يبدأ في العمل. وعند وصول اتساع موجة المذبذب إلى مستوى معين تقوم دارة القادح بإعطاء إشارة إلى دارة الخرج لتقوم بتشغيل ترانزستور الذي يقوم بدوره بتشغيل الحمل. عند ابتعاد الجسم الخارجي من أمام المفتاح فإن اتساع الموجة تنخفض أو يتوقف المذبذب عن العمل، مما يسبب عودة خرج الدارة إلى الوضع العادي.

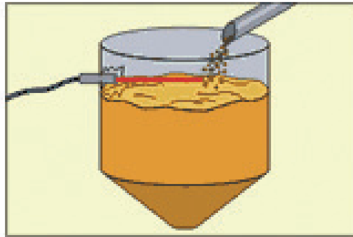
وتعتمد استجابة هذا المجس على ثابت العزل للمادة التي تقع أمام وجه المجس، فكلما زاد ثابت العزل للمادة فإن المجس يكتشفها أو يستجيب لها بشكل أفضل. ولما كان الماء من المواد ذات ثابت العزل العالي (80) فإن هذا المجس يستخدم بكفاءة في التطبيقات المتعلقة باكتشاف مستوى السوائل وتعبئة المواد. ويمكن ضبط حساسية هذا المجس بواسطة مقاومة متغيرة مما يعطي امكانيات أكبر في التحكم؛ حيث يمكن في هذه الحالة جعل المجس يعمل عند كون العبوات مملوءة ولا يعمل عند كونها فارغة.

ويجب الانتباه إلى استخدام هذا المجس في البيئة الجافة أو ذات مستوى ثابت من الرطوبة، حيث أن وجود الماء على سطح المجس قد يتسبب في عمله.

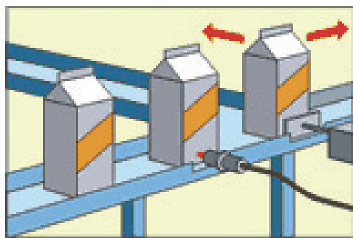
يبين الشكل(١٧) بعض التطبيقات لهذا المجس.



لاكتشاف مستوى الماء داخل الوعاء البلاستيكي بما ان ثابت العزل للماء اعلى بكثير من البلاستيك، فان المجس السعوي يكون قادرا على اكتشاف الماء داخل الوعاء البلاستيكي



التحكم بمستوى الحبيبات في وعاء



اكتشاف وجود السوائل كالحليب داخل العلبة الكرتونية

شكل (١٧)

مميزات المجسات التقاربية :

١- سهولة التركيب .

٢- يمكن استخدامها في البيئات الصناعية الصعبة (وجود الغبار ، والغازات المشتعلة . . . .) .

٣- لا تحتاج إلى الاتصال الميكانيكي مع الأجسام .

٤- تعمل على سرعات تشغيل (ترددات)عالية .

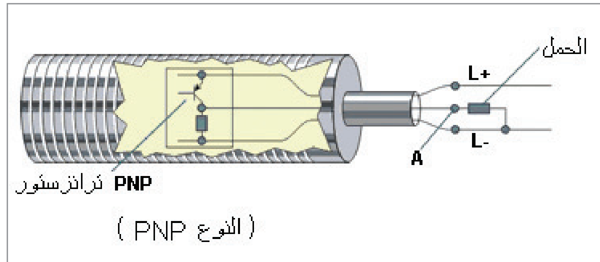
توصيل المجسات التقاربية :

توجد المجسات التقاربية بسلكين ، 3 أسلاك أو أكثر .

ففي حالة المجس ذي السلكين فإنه يتم توصيل المجس على التوالي مع الحمل والمصدر . حيث يتم توصيل احد طرفي المجس مع الطرف المناسب للمصدر ، فيما يتم توصيل الطرف الآخر للمجس مع أحد أطراف الحمل والطرف الآخر للحمل مع الطرف الثاني للمصدر .

أما المجسات ذات الثلاثة أسلاك فهي على نوعين :

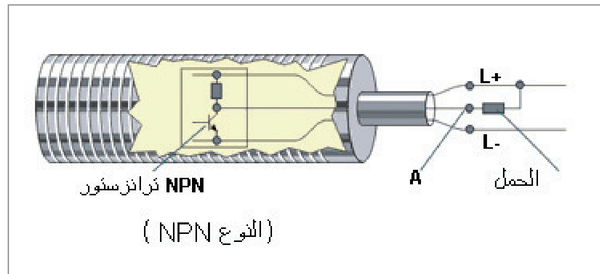
النوع الأول يسمى (النوع PNP) أو (منبع التيار)(Current Sourcing) ، ويوضح الشكل(١٨) كيفية توصيل هذا النوع مع المصدر والحمل .



شكل (١٨)

في هذا النوع يتم توصيل الحمل بين طرف مخرج المجس (A) والطرف السالب لمصدر الجهد الذي يقوم بتشغيل المجس .

أما النوع الثاني فيسمى (النوع NPN) أو (مصرف التيار) (Current Sinking) ويوضح الشكل(١٩) كيفية توصيل هذا النوع مع المصدر والحمل .



شكل (١٩)

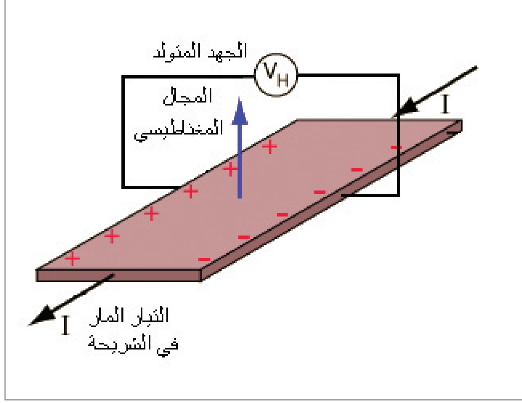
في هذا النوع يتم توصيل الحمل بين طرف مخرج المجس (A) والطرف الموجب لمصدر الجهد الذي يقوم بتشغيل المجس .

ويوجد أنواع تحتوي على أربعة أطراف ، حيث تحتوي على مخرجين متعاكسين . وكذلك يوجد بعض الأنواع التي يمكن توصيلها لتعمل كمجس نوع (PNP) أو (NPN) .

مجس تأثيرهال (Hall Effect Sensor):

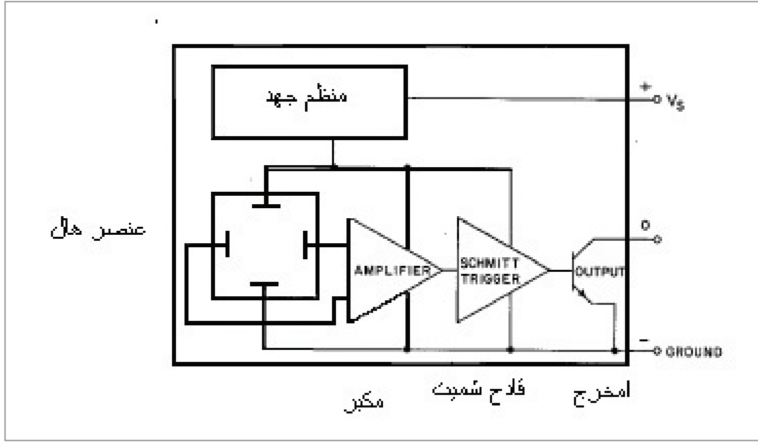
وهو يعد نوعاً من أنواع المفاتيح التقاربية . يكوّن عنصراً(شريحة) هال العنصر الرئيسي في هذا المجس . ويتكون هذا العنصر(الشريحة) من شريحة شبه موصلة يمر بها تيار ، وتكون أطراف الخرج موصولة بشكل عمودي

على اتجاه التيار . وحسب مبدأ هال فإنه عندما لا تتعرض هذه الشريحة إلى مجال مغناطيسي فإن الجهد على طرفي المخرج يكون مساوياً للصفر كون التيار يتوزع بشكل متساوٍ في الشريحة ، أما عند تعرض الشريحة إلى مجال مغناطيسي عمودي فإن القوة المتولدة من تفاعل المجال المغناطيسي مع التيار (الشحنات) المار تؤدي إلى عدم تساوي توزع التيار خلال الشريحة ، مما يؤدي إلى تولد فرق جهد على طرفي الشريحة يعتمد على شدة المجال المغناطيسي عند ثبات التيار المار ، الشكل (٢٠) .



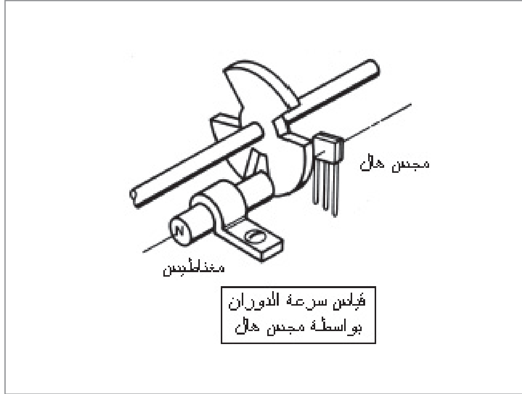
شكل (٢٠):

وتوجد مجسات تأثيرهال ذات خرج رقمي أو تماثلي . ويبين الشكل (٢١) المخطط الصندوقي لمجس تأثيرهال رقمي .



شكل (٢١):

يقوم منظم الجهد بتوفير والحفاظ على ثبات الجهد اللازم لعمل الدارات الإلكترونية داخل المجس . عندما لا يؤثر على المجس مجال مغناطيسي فإن الجهد المتولد على طرفي عنصر هال يكون مساويا للصفر ، وبالتالي يكون خرج المكبر مساويا للصفر ، ولا يعمل قادح شميت أو ترانزستور المخرج . عند تعرض المجس لمجال مغناطيسي عمودي يتولد فرق جهد على طرفي عنصر هال . يقوم المكبر بتكبير هذا الجهد ، وعندما تصل قيمة الجهد إلى حد معين يقوم قادح شميت باخراج إشارة تقوم بتشغيل ترانزستور الخرج وبالتالي الحمل . ويبين الشكل (٢٢) أحد تطبيقات مجس هال .

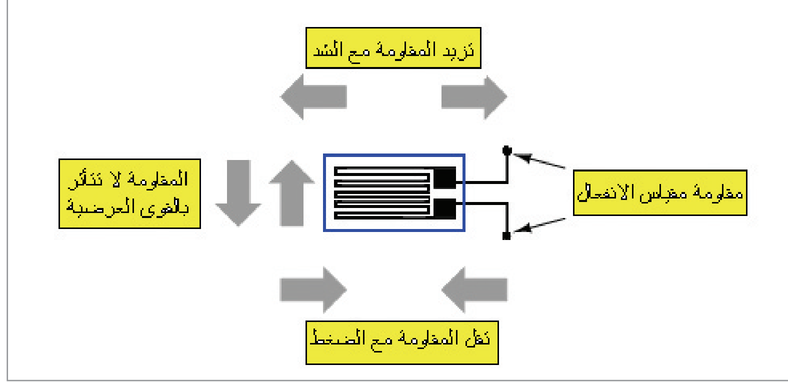


شكل (٢٢):

مقياس الانفعال (Strain Gauge):

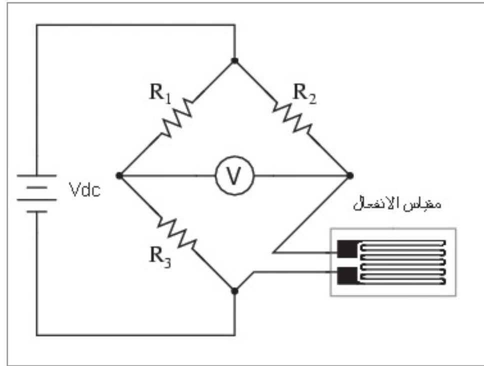
عند تعرض سلك أو شريحة معدنية إلى قوة شد فإن هذا السلك يصبح أطول ومساحة مقطعه أقل ، أي أن مقاومتة ستزيد . وإذا تعرض السلك إلى قوة ضغط فإن طوله سيقل ومساحة مقطعه ستزيد ، أي أن مقاومته ستقل . ويصنع مقياس الانفعال من سلك (أو شريحة معدنية) ملفوف بطريقة معينة من أجل الحصول على أكبر تغير في

المقاومة في حالات الشد أو الضغط الشكل (٢٣).



شكل (٢٣):

ويتم في العادة لصق مقياس الانفعال على عينة معدنية بشكل متين، بحيث يتم تطبيق القوة (أو الوزن) المراد قياسه إلى العينة المعدنية، فتؤدي القوة إلى استطالة العينة المعدنية (أو انكماشها) وبالتالي إلى استطالة أو انكماش مقياس الانفعال مما يترتب عليه تغير مقاومة مقياس الانفعال بمقدار يعتمد على قيمة القوة المؤثره. ويجب أن لايزيد مقدار القوة المؤثرة عن حد المرونة للعينة المعدنية لئلا يؤدي زيادة مقدار القوة إلى الوصول إلى حالة التشوه الدائم للعينة المعدنية؛ مما يؤدي إلى تلف مقياس الانفعال وعدم إمكانية استخدامه لقياس القوة. وتكون موصلات مقياس الانفعال رفيعة للغاية، فإذا كانت مصنوعة من الأسلاك فإن قطر الموصل قد يصل إلى أقل من 0.02 ملم. وتتراوح القيم الشائعة لمقاومة مقياس الانفعال من 30 إلى 3kΩ. ومن أجل قياس القوة المؤثرة على شكل جهد كهربائي، يتم وضع مقياس الانفعال في قنطرة من أجل تحويل التغير في المقاومة إلى تغير في الجهد يمكن استخدامه في عمليات التحكم والقياس. الشكل (٢٤).



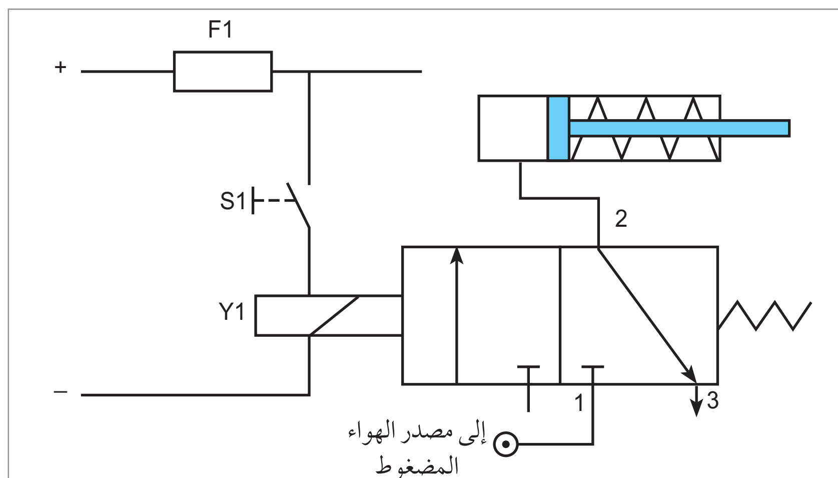
شكل (٢٤):

كما يتم صنع أربعة مقاييس انفعال على نفس العينة لتكون هذه المقاييس قنطرة القياس من جهة ولتعطي استجابة أكبر، بالإضافة إلى توفير تعويض لمقاومة أسلاك التوصيل وتغيرات درجات الحرارة مما يعطي دقة أكبر في القياس، ويوجد كذلك أنواع من مقاييس الانفعال التي تتأثر بالقوى من أكثر من محور ومن أكثر من اتجاه.

تطبيقات عملية

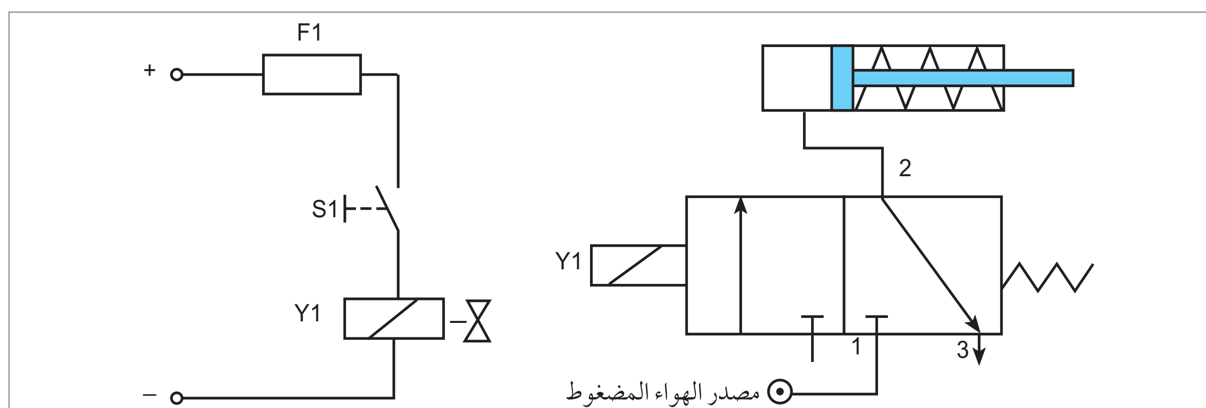
التحكم في الأسطوانات أحادية الفعل

الشكل (٢٥) يعرض مخططاً كهروهوائياً للتحكم في أسطوانة أحادية الفعل باستخدام صمام 3/2 بملف وزنبرك.



شكل (٢٥):

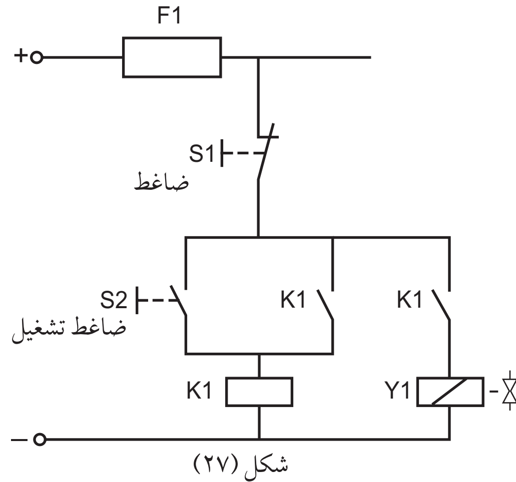
في الوضع العادي (من دون الضغط على ضاغط التشغيل S_1) يكون الصمام في الوضع الأيمن بفعل الزنبرك. وكما هو واضح من مسار الهواء المضغوط داخل الصمام. فإن خط الهواء المضغوط يكون مغلقاً وتكون الأسطوانة أحادية الفعل موصولة مع خط العادم، وبالتالي تكون الأسطوانة متراجعة إلى الوراء. عند الضغط على ضاغط التشغيل S_1، يصل فرق الجهد إلى طرفي ملف الصمام فيأخذ الصمام الوضع الأيسر أي يصبح المسار 1←2 داخل الصمام مفتوحاً فتتحرك الأسطوانة إلى الأمام. وعند رفع الضغط على ضاغط التشغيل S_1 تتراجع الأسطوانة إلى الوراء فوراً. وعادة يتم فصل الدارة الكهربائية عن الدارة الهوائية، وبالتالي يتم رسم الدارة أعلاه كما هو موضح في الشكل (٢٦).



شكل (٢٦):

سؤال :

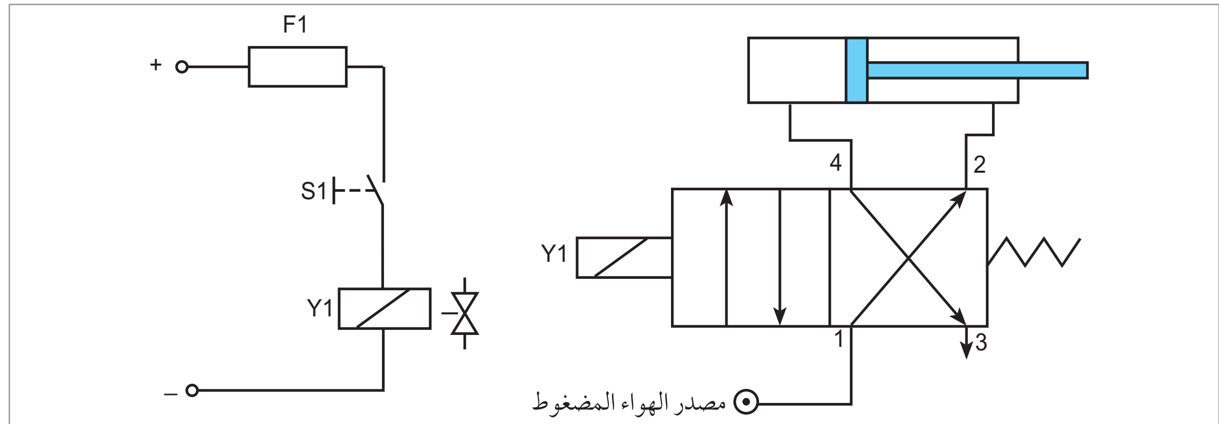
١ – إذا استبدلنا الدارة الكهربائية السابقة بالدارة التالية اشرح عمل الدارة الكهروهوائية السابقة.



شكل (٢٧)

التحكم بالأسطوانات ثنائية الفعل بواسطة صمام 4 / 2

الشكل(٢٨) يعرض مخططاً إلكتروهوائياً للتحكم بأسطوانة ثنائية الفعل باستخدام صمام 4/2 بملف وزنبرك.



شكل (٢٨):

في الوضع الطبيعي (من دون الضغط على ضاغط التشغيل) يكون الصمام في الوضع الأيمن، وحسب مسارات الهواء في الصمام فإن الأسطوانة سوف تتراجع إلى الوراء. عند الضغط على ضاغط التشغيل، تأخذ مسارات الهواء الوضع الأيسر في مخطط الصمام؛ مما يسبب اندفاع الأسطوانة إلى الأمام. وتبقى الأسطوانة مندفعة إلى الأمام طالما بقي مصدر الجهد موصولاً على طرفي الملف Y_1.

سؤال :

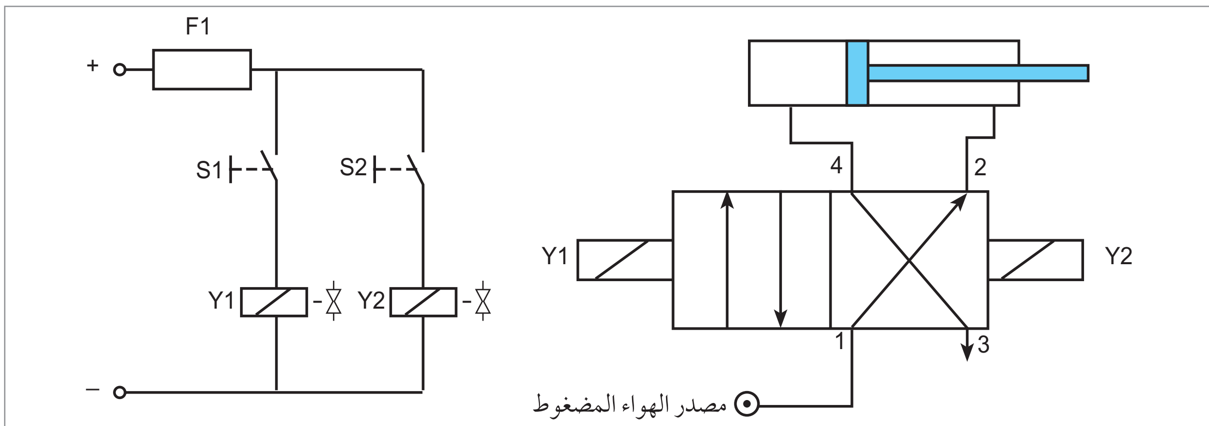
ارسم المخطط الكهربائي والهوائي اللازم بحيث تعمل الدارة أعلاه كما يلي :

عند الضغط على ضاغط التشغيل لحظياً تندفع الأسطوانة إلى الأمام .

تبقى الأسطوانة مندفعة إلى الأمام حتى يتم الضغط على ضاغط الإيقاف .

التحكم بالأسطوانات ثنائية الفعل بواسطة صمام 4/2 بملفين كهربائيين .

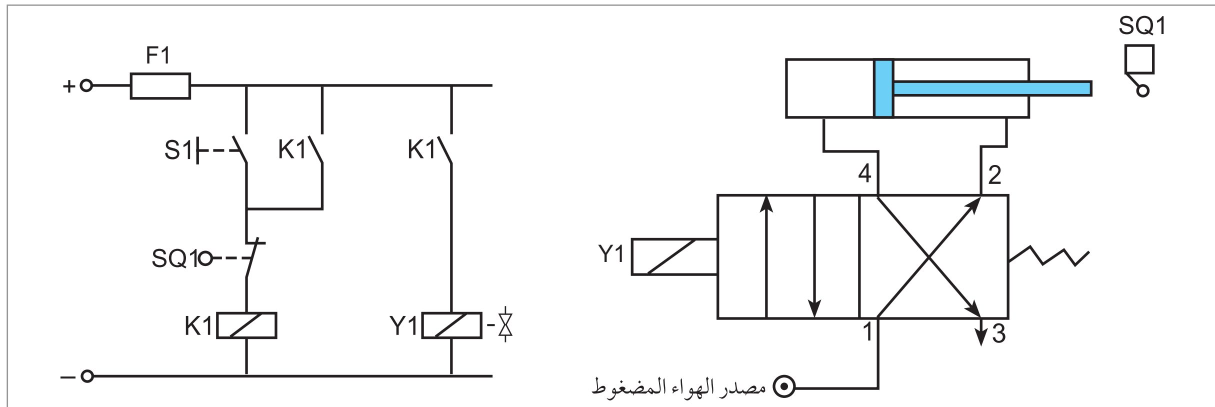
الشكل (٢٩) يعرض مخططاً إلكتروهوائياً للتحكم بأسطوانة ثنائية الفعل باستخدام صمام 4/2 بملفين كهربائيين . عند الضغط على ضاغط التشغيل S_1 ، يصل فرق الجهد لتشغيل الملف Y_1 فيأخذ الصمام الوضع الأيسر ، أي أن الأسطوانة تتقدم إلى الأمام . ويبقى الصمام على هذا الوضع حتى لو تم رفع الضغط عن كبسة التشغيل S_1 أما عند الضغط على كبسة التشغيل S2 فإن الصمام يأخذ الوضع الأيمن وتتراجع الأسطوانة إلى الوراء .



شكل (٢٩)

التحكم بعمل الأسطوانات باستخدام المفاتيح الحدية .

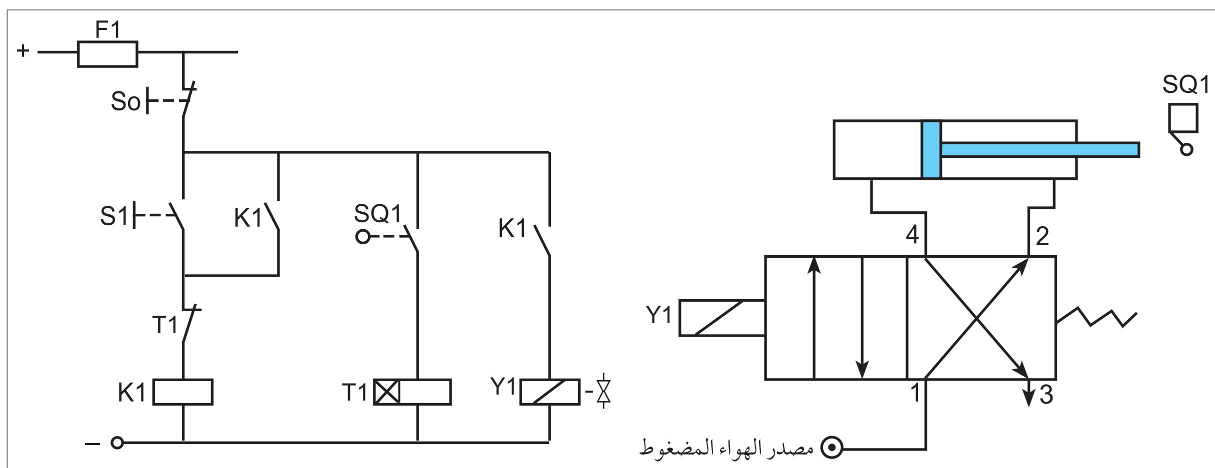
بالرجوع إلى الشكل (٣٠) عند الضغط على الضاغط S_1 يعمل المرحل K_1 وبالتالي يعمل الصمام Y_1 ، فيتغير وضع الصمام إلى الوضع الأيسر فتتقدم الأسطوانة إلى الأمام . وتستمر الأسطوانة بالتقدم إلى الأمام حيث أن المرحل يبقى في وضع التشغيل حتى لو تم رفع الضغط عن الضاغط S_1 ، بفعل وجود الملامس K_1 الموصول على التوازي مع كبسة التشغيل في دارة تشغيل المرحل K_1 . وعندما تصطدم الأسطوانة بالمفتاح التلامسي SQ_1 ، يفتح الملامس في المفتاح التلامسي ؛ مما يسبب فصل مصدر الجهد عن ملف المرحل K_1 . وبالتالي ينقطع الجهد عن الصمام Y_1 فتعود الأسطوانة إلى الوراء .



شكل (٣٠)

التحكم بالأسطوانات باستخدام المؤقتات الزمنية

يعرض الشكل (٣١) الدارة الهوائية والدارة الكهربائية للتحكم بأسطوانة ثنائية الفعل تتقدم إلى الأمام، وتبقى في الوضع الأمامي لمدة زمنية معينة ثم تعود إلى الوراء.



شكل (٣١)

عند الضغط على الضاغط S_1 يعمل المرحل K_1 ويبقى في حالة التشغيل حتى لو تم رفع الضغط عن الضاغط S_1 بفعل الملامس K_1 الموصول على التوازي مع كبسة التشغيل. فيصل الجهد إلى الصمام Y_1 فيأخذ الصمام الوضع الأيسر وتتقدم الأسطوانة إلى الأمام. وعند وصول الأسطوانة إلى المفتاح التلامسي SQ_1 يعمل المفتاح التلامسي على إيصال مصدر الجهد إلى المؤقت T_1 الذي يبدأ بعد الوقت. وعند انقضاء المدة الزمنية المعير عليها المؤقت يفتح التلامس المغلق T_1 للمؤقت، فيقوم بفصل الجهد عن ملف المرحل K_1، فيتحول المرحل إلى حالة الفصل وينقطع الجهد عن الصمام Y_1، فيأخذ الصمام الوضع الأيمن وتعود الأسطوانة إلى الوراء بفعل وجود الزنبرك في الصمام الاتجاهي.

أسئلة :

س١ : عدد خصائص أنظمة التحكم مع الشرح المختصر لكل منها .

س٢ : اذكر الخصائص التي يتم بموجبها تصنيف نظم التحكم .

س٣ : صنف نظم التحكم حسب وجود التغذية الراجعة وإشرح عمل كل نوع باختصار .

س٤ : ارسم المخطط الصندوقي لنظام التحكم ذي الحلقة المغلقة مع شرح عمل النظام .

س٥ : عدد أنواع المتحكمات ذاكراً مميزات كل منها ومساوئه .

س٦ : صنف نظم التحكم حسب التطبيقات المختلفة .

س٧ : اذكر العناصر الأساسية للأنظمة الهوائية .

س٨ : ارسم الرمز الفني لكل من :

أ- صمام 3/2 بملف وزنبرك .

ب- صمام 4/2 بملفين .

جـ صمام 4/3 بملفين .

س٩ : اذكر العناصر الأساسية لأنظمة التحكم بالآلات الصناعية .

س١٠ : اشرح مبدأ عمل المفتاح الحثي مبيناً المكونات الرئيسية له .

س١١ : اذكر العوامل التي تحدد مدى العمل للمفتاح التقاربي الحثي .

س١٢ : اشرح مبدأ عمل المفتاح التقاربي السعوي باختصار .

س١٣ : اذكر مميزات المفاتيح التقاربية .

س١٤ : اذكر أنواع المفاتيح التقاربية ذات الثلاثة أسلاك وبين كيفية توصيل كل منها مع الحمل .

س١٥ : وضح المقصود بمقياس الانفعال واشرح مبدأ عمله .

س١٦ : ارسم دارة باستخدام مقياس الانفعال تعطي جهداً يتغير بتغير القوةالمؤثرة واشرح عملها .

س١٧ : اشرح مبدأ تأثير هال (Hall effect) .

س١٨ : اشرح مبدأ عمل مجس تأثير هال مبيناً المكونات الأساسية لهذا المجس .

س١٩ : ارسم المخطط الكهروهوائي لتشغيل أسطوانة أحادية الفعل باستخدام صمام 3/2 بملف وزنبرك بحيث :

١- عند الضغط على ضاغط التشغيل تتقدم الأسطوانة إلى الأمام .

٢- عند وصول الأسطوانة إلى المفتاح الحدي في الأمام تبقى الأسطوانة في الوضع الأمامي لمدة زمنية يحددها مؤقت زمني .

٣- بعد انقضاء مدة المؤقت أو الضغط على ضاغط الإيقاف تتراجع الأسطوانة إلى الخلف .

س٢٠ : ارسم المخطط الكهروهوائي لتشغيل أسطوانة ثنائية الفعل بواسطة صمام 4/2 بملفين كهربائيين بحيث :

١- عندما تكون الأسطوانة متراجعة إلى الوراء ويتم الضغط على ضاغط التشغيل تتقدم الأسطوانة إلى الأمام .

٢- عندما تصل الأسطوانة إلى الوضع الأمامي تتراجع الأسطوانة إلى الخلف .

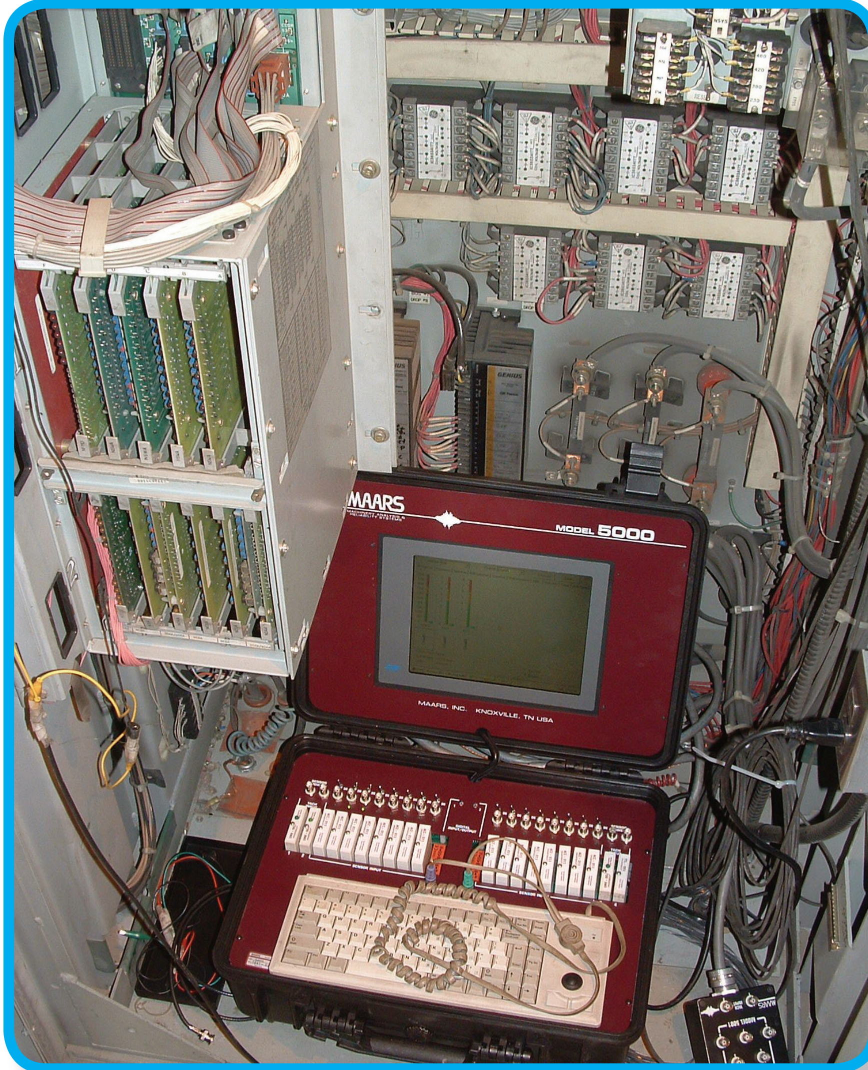
٣- تستمر الأسطوانة في هذه الحركة الترددية حتى يتم الضغط على ضاغط الإيقاف، حيث تتراجع الأسطوانة إلى الخلف وتقف هناك .

٤- استخدم ضاغط تشغيل، وضاغط إيقاف، ومفتاحين حديين .

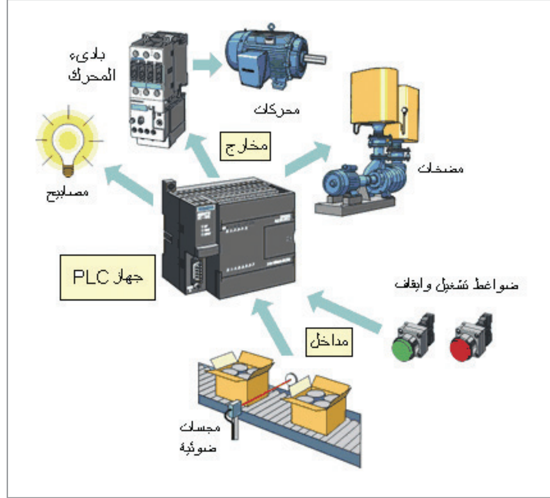
الوحدة

٦

المتحكم المنطقي المبرمج (PLC)



المتحكم المنطقي المبرمج (PLC)



شكل (١)

يمكن تعريف جهازالمتحكم المنطقي المبرمج (PLC) بأنه «جهاز إلكتروني رقمي مع ذاكرة قابلة للبرمجة لحفظ التعليمات الخاصة لتنفيذ وظائف ومهام معينة مثل العمليات المنطقية، والتتابع، والتوقيت، والعد والعمليات الحسابية وغيرها، وذلك للتحكم بالآلات والعمليات الصناعية». يعتمد الجهاز في عمله على وجود برنامج تحكم يتم حفظه وفق تسلسل معين لتنفيذ خطوات التحكم المطلوب. يقوم الجهاز باستدعاء هذه الخطوات وتنفيذها ومن ثم التحكم بالآلة أو العملية الصناعية بواسطة إشارات الخرج التي يتم إخراجها على أطراف مخارج الجهاز.

وتعتمد إشارات الخرج وتتابعها على كل من برنامج التحكم الذي تم حفظه في ذاكرة الجهاز من أجل تنفيذ خطوات التحكم المطلوب، وعلى إشارات الدخل إلى الجهاز التي تمثل معلومات عن الوضع الحالي للعملية الصناعية من المجسات المختلفة، أو أوامر للتحكم بالعملية الصناعية من ضواغط التشغيل والإيقاف مثلاً، الشكل (١).

مكونات الجهاز :

في الأجهزة المبرمجة كما في جهاز الحاسوب والمتحكم المنطقي المبرمج (PLC)، يتكون الجهاز من عنصرين أساسين يجب أن يتم التفريق بينهما:

- البرمجيات (Software).
- المكونات الصلبة (Hardware).

١- **البرمجيات**: ويشتمل المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) على البرمجيات التالية:

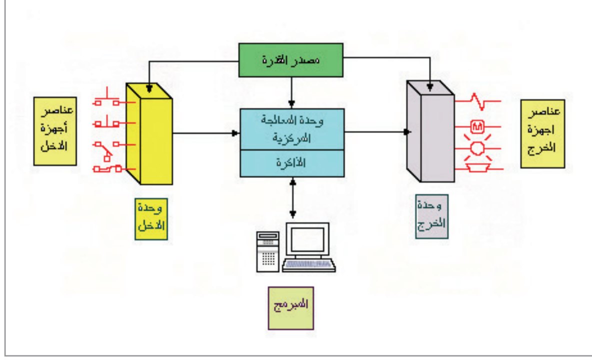
أ- البرنامج الأساسي لعمل الجهاز الذي يقوم ببدء عمل المعالج بعد توصيل مصدر القدرة إلى الجهاز.

ب- نظام التشغيل للجهاز الذي يتم تخزينه في ذاكرة الجهاز من الصانع.

جـ- البرنامج المطلوب من الجهاز تنفيذه من أجل التحكم بالعملية الصناعية. وهذا البرنامج يقوم مستخدم الجهاز بتصميمه وكتابته ثم تخزينه في الجهاز بواسطة جهاز البرمجة.

٢- المكونات الصلبة للجهاز : يبين الشكل (٢) المكونات الأساسية الصلبة للجهاز ومن الشكل يتضح أن الجهاز يتكون من الأجزاء الأساسية التالية :

- وحدة المداخل .
- وحدة المخارج .
- وحدة المعالجة المركزية .
- مصدر القدرة .



شكل (٢)

ويلزم كذلك جهاز لبرمجة المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) وذلك لإدخال برنامج التحكم وتخزينه من قبل مستخدم الجهاز ، وذلك للتحكم بالآلة أو العملية الصناعية .

وتوجد وحدات أخرى مثل وحدات الاتصالات والوحدات الخاصة التي توجد في بعض الأجهزة .

وتوجد المكونات الصلبة لجهاز المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) عادة على نوعين :

- **النوع الأول** : أجهزة التحكم المنطقي المبرمج المتكاملة (Compact Type) : وفي هذا النوع توجد جميع العناصر السابقة في وحدة واحدة . وتستخدم هذه الأجهزة للتحكم في العمليات الصناعية الصغيرة وذلك بتكلفة منخفضة نسبيا . ويكون عدد المداخل والمخارج التي يمكن توصيلها بهذا النوع عادة قليلة . وفي بعض الأنواع يمكن إضافة وحدة توسعة (Expansion Unit) لزيادة عدد المداخل والمخارج ، الشكل (٣) .


شكل (٣)

- **النوع الثاني** : أجهزة التحكم المنطقي المبرمج المجزأة (Moduled Type) . في هذا النوع يتم تخصيص وحدة منفصلة لكل عنصر من العناصر المكونة للجهاز تسمى وحدة (Module) . فتوجد وحدة لمصدر القدرة ، ووحدة للمداخل ، ووحدة للمخارج ، ووحدة المعالجة المركزية . ويمكن إضافة وحدات إضافية للمداخل والمخارج حسب الحاجة ، الشكل (٤) .


شكل (٤)

١- وحدات الدخل:

وهي وحدات مجهزة بحيث تستقبل أنواعا مختلفة من الإشارات القادمة من عناصر إدخال البيانات مثل الحساسات (Sensors) ، وضواغط تشغيل الآلات وإيقافها ، مفاتيح الحرارة ، والمفاتيح الحدية (Limit Switches) . وهذه الإشارات الداخلة إلى وحدات الدخل توفر معلومات عن الوضع الحالي للآلة أو العملية الصناعية . ويقوم

المعالج بناءً على هذه الإشارات التي توفرها له وحدات الدخل وبناءً على البرنامج المخزن داخله بإعطاء إشارات الخرج المطلوبة من أجل التحكم بسير الآلة أو العملية الصناعية .

ويمكن تلخيص مهمات وحدات الدخل :

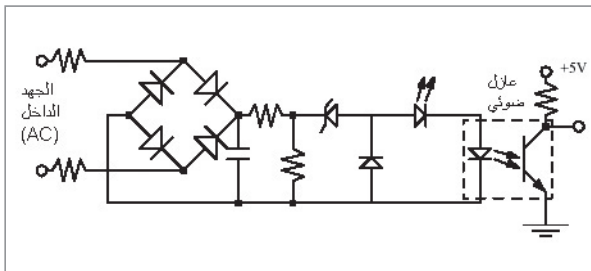
- استشعار وجود إشارات الدخلأو غيابها عند كل نهاية طرفية للمداخل .
- تحويل إشارة الدخل إلى جهد مناسب لعمل وحدة الدخل .
- العزل الكهربائي بين إشارة خرج وحدة الدخل المتصلة بوحدة المعالجة المركزية عن دارات أجهزة الدخل .
- إرسال (إخراج) إشارة رقمية (منطقية) لوحدة المعالجة المركزية عن وضع المجسات المختلفة .

ويمكن تقسيم وحدات الدخل بشكل عام إلى :

١- وحدات الإدخال الرقمية : وهذه الوحدات مخصصة لاستقبال الإشارات الرقمية ON، OFF أو 1،0 ، القادمة من عناصر الدخل التي لها حالتا تشغيل فقط ، مثل الضواغط ، والمفاتيح الحدية ، والمفاتيح التقاربية (Proximity Sensors) ، والخلايا الضوئية ، والعوامات الكهربائية . وتقوم هذه الوحدات بنقل المعلومات عن عناصر الدخل إلى وحدة المعالجة المركزية .

وتعمل وحدات الدخل بجهود مستمرة (dc) أو متغيرة (ac) وبقيم مختلفة ومتنوعة مثل ، 110V ، 24V . 240V

ويختلف عدد نقاط الدخل وبالتالي عدد عناصر الدخل (المجسات المختلفة) التي يمكن وصلها مع النهايات الطرفية للوحدة من وحدة إلى أخرى حيث يمكن أن يكون 12 ، 8، 6، 4، . . . . . طرفا مع طرف للمشترك أو أكثر .



شكل (٥)

ويبين الشكل (٥) مخططا مبسطا لوحدة دخل رقمية لإدخال الإشارة من مجس واحد.

تقوم المقاومات بتخفيض جهد الدخل . أما القنطرة فتقوم بتحويل جهد الدخل المتغير (في حالة كون الوحدة تعمل على جهد متغير) إلى جهد مستمر . ويتم تنعيم الجهد الداخل بواسطة المرشح الذي يقوم أيضا بتأخير الإشارة الداخلة . ويعمل ثنائي زينر على تحديد الجهد الذي يقوم بتشغيل العازل الضوئي . أي أن الجهد الداخل لتشغيل العازل الضوئي يجب أن يتعدى قيمة معينة وأن يستمر وجوده لفترة معينة قبل أن تقوم وحدة الدخل بتحديد حالة عنصر الدخل ونقل المعلومات إلى وحدة المعالجة المركزية . وعندما يتم تشغيل الثنائي المشع للضوء الخاص بالعازل الضوئي يتم أيضا تشغيل ثنائي مشع للضوء خارجي ليعطي إشارة عن حالة إشارة الدخل مما يساعد في عمليات الصيانة . ويقوم العازل الضوئي بالعزل الكهربائي بين دارة الدخل عن وحدة المعالجة المركزية .

ويوجد وحدات دخل رقمية سريعة الاستجابه مخصصة لاستقبال إشارات دخل سريعة تسمى (وحدات العد السريعة) وتستعمل لإدخال الإشارات ذات التردد العالي مثل الإشارات الواردة من مجسات تقاربية تقوم بإعطاء عدة نبضات لكل دورة من جسم يدور بسرعة عالية . ويكون عمل وحدة الدخل من هذا النوع مشابها لوحدة الدخل العادية ، ويختلف فقط في أن زمن التأخير في هذه الوحدة يكون أقل .

سؤال :

ما أثر استخدام وحدات الدخل سريعة الاستجابة مع مفاتيح ميكانيكية تقوم بعمليات فتح ارتدادية .

ولكل نقطة إدخال عنوان (Address) خاص . ويستخدم هذا العنوان من أجل مراقبة أو قراءة حالة المدخل من خلال برنامج التشغيل . ويتحدد هذا العنوان من الصانع ، فمثلاً تبدأ المداخل في شركة سيمنز Siemens بالحرف I . فتكون المداخل الثمانية الأولى هي I0.7 ...... I0.0 . بينما تأخذ عناوين المداخل في شركة LG الحرف P .

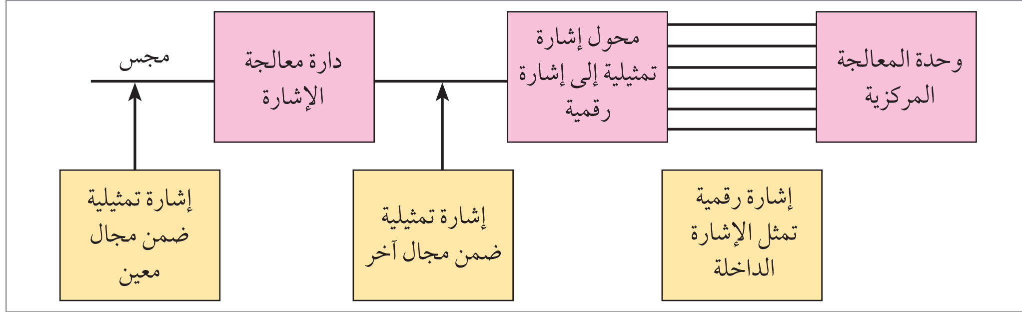
ويوجد على الواجهة الأمامية لجهاز المتحكم المنطقي المبرمج وحدة إظهار مكونة من ثنائيات مشعة للضوء وذلك لبيان وصول إشارة دخل إلى كل نقطة في وحدة الدخل .

٢- وحدات الإدخال التماثلية : وهي تقوم باستقبال الإشارات التماثلية التي تتغير ضمن مجال معين والواردة من المجسات المختلفة . وهذه الإشارات لا تتخذ قيمتين فقط ، بل يمكن أن تأخذ عدداً لا نهائي من القيم ضمن مجال خرج هذه المجسات . ويختلف خرج المجسات المختلفة من ناحية النوع والقيمة . فبعضها يعطي فرق جهد قليل بالميلي فولت مثل الازدواجات الحرارية ، أو عدة فولتات مثل المحولات الخطية . وبعضها تتغير فيه المقاومة الكهربائية بشكل واسع مثل الثيرمستور أو بقيم صغيرة مثل مقياس الانفعال . ومجسات أخرى تعطي تياراً متغيراً على مخرجها . ولذلك تقوم الشركات الصانعة بتصميم وحدات إدخال متنوعة تختص بإدخال أنواع الإشارات المختلفة وضمن مجال قياسي محدد . وفيما يلي بعض الأمثلة على ذلك :

- وحدات إدخال فرق جهد ضمن المدى (-100mV) – (+100mV)، 0 - 5V ، (-10V) – (+10V) .
- وحدات إدخال تيار ضمن نطاق 4 – 20mA ، (-20mA) – (+20mA) .
- وحدات إدخال إشارات في صورة مقاومة متغيرة للحساسات التي تعتمد على تغير مقاومتها عند قياس المتغيرات الفيزيائية . مثل الوحدات التي تعمل مع المجس PT100، PT1000، الثيرمستور ومقياس الانفعال .
- وحدات إدخال خاصة بالازدواجات الحرارية المختلفة R، S، J، K .

ويتم تصميم بعض وحدات الدخل التماثلية بحيث تستطيع إدخال أكثر من مدخل تماثلي . وتتميز جميع وحدات إدخال الإشارات التماثلية بمعاوقة دخل (Input Impedance) عالية تصل إلى عدة ميجا أوم .

ويبين الشكل(٦) المخطط الصندوقي لتركيب وحدة إدخال تماثلية .

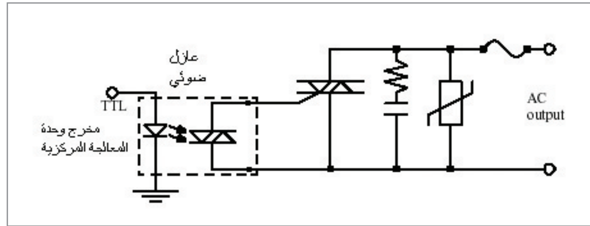


شكل (٦)

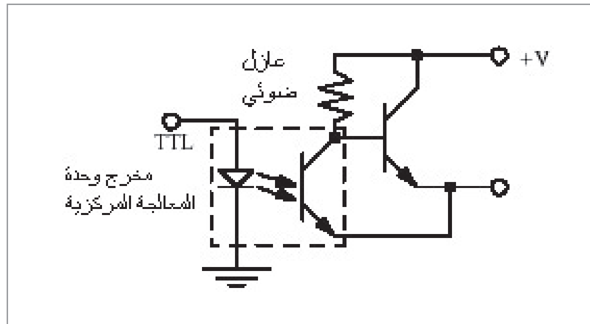
٢- وحدات الإخراج:

وهي وحدات تقوم بإخراج الإشارات الكهربائية المطلوب إخراجها من وحدة المعالجة المركزية ، وذلك لتسيير العملية الصناعية حسب البرنامج المدخل للجهاز من المستخدم . وبهذا فإن وظائف وحدة الخرج في المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) تتلخص بما يلي :

- تحويل الإشارة الخارجة من وحدة المعالجة إلى إشارة ذات جهد مناسب للتحكم بعمل المشغلات (رقمية ، تماثلية) .
- التحكم بسير العملية الصناعية حسب المطلوب .
- عزل دارة وحدة المعالجة المركزية عن وحدة الخرج .



شكل (٧)



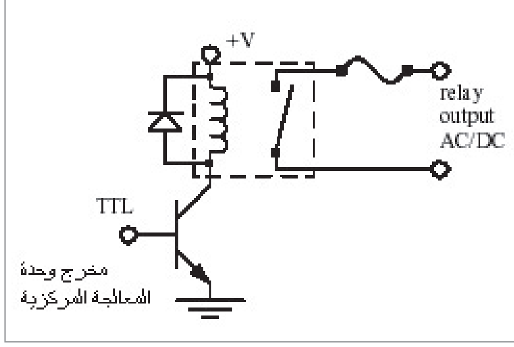
شكل (٨)

وهناك عدة أنواع من وحدات الخرج منها :

١- **وحدة الخرج الرقمية :** وهي وحدة الخرج التي تأخذ إشارة الخرج فيها إحدى حالتين 1 أو 0 (ON ، OFF) وعادة توجد وحدات الخرج الرقمية بإحدى الأنواع التالية :

- وحدة الخرج بترياك . يكون العنصر الإلكتروني المستخدم فيها لتشغيل الحمل هو الترياك ، وهي تعمل مع الجهود المتغيرة ، الشكل(٧) .
- وحدة الخرج بترانزستور . ويكون الترانزستور إما من النوع NPN أو PNP وهي تستخدم مع الجهود المستمرة ، ويمكن تشغيلها على سرعات عالية ، الشكل(٨) .

■ **وحدة الخرج بمرحل :** ويمكن تشغيلها على الجهود المستمرة أو المتغيرة . وهي توفر عزلا بين دارة تشغيل المرحل والحمل، بالإضافة إلى أنها تقاوم التغيرات المفاجئة للتيارات والحالات العابرة للجهود . ولكن من الناحية الأخرى فإن المرحل بطيء العمل ذو حجم كبير نسبيا، ويتلف أسرع من المفاتيح الساكنة الأخرى كالترانزستور والترياك، الشكل(٩) .



شكل (٩)

ولكل نقطة إخراج عنوان (Address) خاص . ويستخدم هذا العنوان من أجل تشغيل المخرج المطلوب من خلال برنامج التشغيل . ويتحدد هذا العنوان من الصانع، فمثلاً تبدأ المخارج في شركة سيمنز بالحرف Q . فتكون المخارج الثمانية الأولى هي Q0.7 ......Q0.0 . بينما تأخذ عناوين المخارج في شركة LG الحرف P. P0010-P0015 .

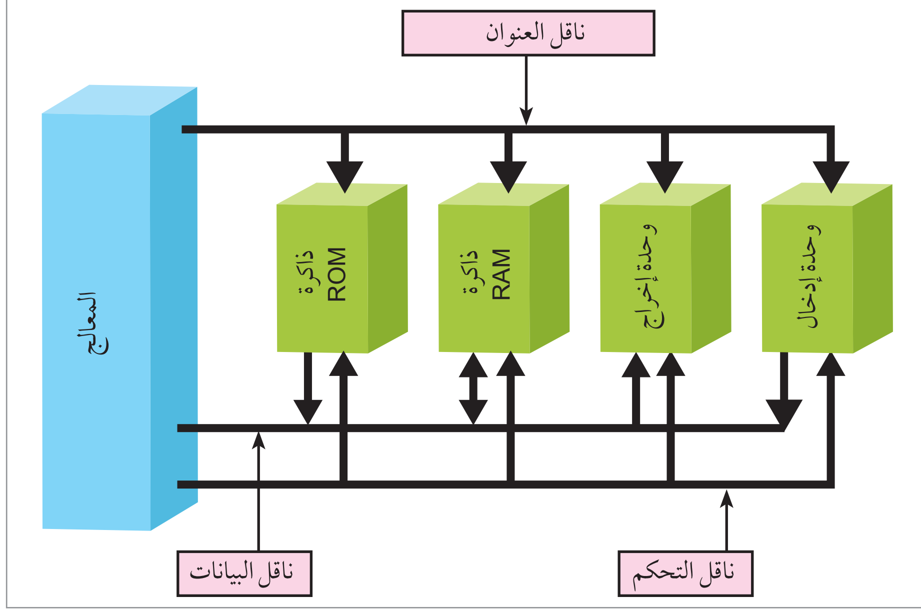
٢ – **وحدات الخرج التماثلية :** تكون الإشارة الخارجة من وحدة الخرج المذكورة هي إشارة تماثلية تتغير ضمن مجال معين من التيارات أو الجهود (0-10V)، (0-20mA)، وتستخدم هذه الوحدة للتحكم بالصمامات والمشغلات التماثلية ونظم قيادة محركات التيار المتناوب والمستمر (AC &DC Drives) .

٣– **وحدات خرج خاصة :** وتكون لوحدة الخرج هذه مهام تحكم معينة، بحيث يقوم المعالج بإعطاء وحدة الخرج قيمة خرج معينة، لتقوم وحدة الخرج بالقيام بالمتابعة اللحظية لعمليات التحكم، مما يعفي المعالج من مهمة المتابعة اللحظية للخرج المطلوب، والتفرغ لمتابعة تنفيذ البرنامج الرئيسي . وهذه الوحدات يطلق عليها أحياناً بالوحدات الذكية . ومن الأمثلة على هذه الوحدات وحدات التحكم بمحركات الخطوة، حيث تقوم الوحدة بالتحكم بعمل محركات الخطوة من حيث السرعة أو الزاوية المراد أن يدورها المحرك بعد أن تتلقى القيم المطلوبة من وحدة المعالجة المركزية .

٣- وحدة المعالجة المركزية (CPU)

يختلف التركيب الدقيق لوحدة المعالجة المركزية من صانع إلى آخر . ويبين الشكل(١٠) التركيب الأساسي الداخلي لجهاز (PLC) وهو يشبه التركيب الداخلي لجهاز الكمبيوتر الذي يعتمد على نظام النواقل (Bus System) . ونظام النواقل يعتمد على عدد من النواقل (الموصلات) الكهربائية : ناقل العنوان، وناقل المعلومات، وناقل التحكم . وأهم العناصر المتصلة بالنواقل هي المعالج والذاكرة بأنواعها بالإضافة إلى وحدات الدخل والخرج من أجل إدخال المعلومات من أجهزة الدخل أو إعطاء الأوامر لتشغيل أجهزة الخرج .

وتتكون وحدة المعالجة المركزية من عنصرين أساسيين وهما المعالج والذاكرة .



شكل (١٠)

■ المعالج:

وهو يقوم بالتحكم بجميع الأعمال والمهام المنوطة بجهاز (PLC) مثل استدعاء برنامج التحكم من الذاكرة خطوة خطوة وتنفيذه، كما يقوم باستقبال البيانات القادمة من الوحدات الطرفية مثل وحدات الإدخال والإخراج والاتصال بالمبرمجات وشبكات المتحكمات أو شبكات الحاسب الآلي الأخرى. وتختلف المعالجات بطول الكلمة (Word Length) التي تعالجها بالبت (32 ، 16 ، 8 ، 4)، وبسرعة تردد الساعة (Clock) التي تعمل عليها بالميغا هيرتز. ويشتمل المعالج على الوحدات الأساسية التالية :

- **وحدة الحساب والمنطق** (Arithmatic Logic Unit – ALU) : وهي تقوم بتنفيذ العمليات الحسابية والمنطقية على البيانات المطلوبة. وتشتمل هذه الوحدة على مسجل يدعى Accumulator (AC) وهو مسجل خاص متصل بشكل مباشر بوحدة الحساب والمنطق ويتم حفظ النتائج المباشرة للعمليات الحسابية والمنطقية فيه .
- **وحدة التحكم** (Control Unit) : وهي تنظم وتتحكم بتتابع العمليات اللازمة لتنفيذ التعليمات المطلوبة في برنامج التحكم. وتشتمل على مسجل التعليمات، وهو مسجل يحفظ التعليمة المطلوبة حتى يتم تنفيذها . ويوجد كذلك في وحدة التحكم مسجل يسمى عداد البرنامج (Program Counter)، وهو يحتوي دائما على عنوان التعليمة التالية المطلوب تنفيذها.

وبشكل عام، يتم تنفيذ التعليمة بخطوتين رئيسيتين :

- قراءة التعليمة من الذاكرة .
- تنفيذ التعليمة .

ويتم ذلك بواسطة نقل محتويات مسجل عداد البرنامج إلى ناقل العنوان ثم تقوم وحدة التحكم بإعطاء

الإشارات اللازمة لنقل التعليمة المطلوبة من الذاكرة إلى ناقل المعلومات ومنه إلى مسجل التعليمات . ويتم في مسجل التعليمات فك رموز التعليمة المطلوبة ، ومن ثم تقوم وحدة التحكم بإعطاء التتابع المطلوب من الإشارات لتنفيذ التعليمة . وخلال تنفيذ التعليمة تتم زيادة مسجل عداد البرنامج ليؤشر على عنوان التعليمة التالية . ويتم تنفيذ التعليمة التالية بنفس الطريقة .

وتوجد بوحدات المعالجة المركزية بعض أزرار التشغيل نذكر منها :

ON – ويستخدم لتشغيل الوحدة وتوصيل مصدر القدرة إليها .

OFF – ويستخدم لفصل مصدر القدرة عن الوحدة .

RUN أو START ويستخدم لبدء تشغيل البرنامج بصورة دورية .

STOP ويستخدم لإيقاف تنفيذ البرنامج .

ويوجد على الواجهه الأمامية لوحدة المعالجة المركزية مصابيح بيان مكونة من ثنائيات مشعة للضوء للدلالة على حالة وحدة المعالجة التي قد تختلف حسب الصانع ، منها :

POWER : مصدر القدرة يعمل بشكل طبيعي .

RUN : يقوم المعالج بمسح البرنامج والتحكم بالمخارج .

إذا أضاء بشكل متقطع فإن المعالج لا يعمل مع الاحتفاظ بحالة المخارج .

إذا كان مطفئاً فإن المعالج لا يعمل مع إطفاء المخارج .

FAULT : تم اكتشاف خلل في وحدة المعالجة المركزية .

LOW BATTERY : جهد البطارية أقل من الحد الأدنى .

الذاكرة:

وتحتوي الذاكرة بأنواعها على البرامج الأساسية لعمل الجهاز ، وكذلك البرنامج المطلوب من الجهاز تنفيذه والمدخل من المستخدم . وهناك عدة أنواع من الذاكرة المستخدمة في جهاز المتحكم المنطقي المبرمج ، وقد تم التطرق لأنواع الذاكرة في وحدات سابقة .

ويتم حجز أماكن معينة في الذاكرة بعناوين محددة لعدد هام من الوظائف الحيوية التي يقوم بها المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) ومنها :

١- برنامج التحكم .

٢- صورة وحدات الإدخال : يتم حفظ حالة وحدات الإدخال في هذا الحيز .

٣- صورة وحدات الإخراج : يتم حفظ حالة وحدات الإخراج في هذا الحيز .

٤- حيز الإعلام والعلامات (Markers & Flags) : وهي أماكن ذاكرة خالية يقوم الجهاز باستخدامها خلال تنفيذ البرنامج .

٥- المؤقتات والعدادات .

٦- متغيرات النظام .

٤- وحدة مصدر القدرة :

تقوم هذه الوحدة بتوفير الجهود الملائمة لعمل المتحكم المنطقي المبرمج (PLC)، حيث توفر الجهود الملائمة لعمل وحدة المعالجة المركزية ووحدات الدخل والخرج . وتشمل هذه الوحدة جميع المراحل اللازمة مثل تحويل الجهد الداخل المتغير أو التوحيد أو الترشيح والتنظيم . وقد سبق أن درسنا منظمات الجهد بأنواعها في الجزء الثاني من الكتاب في الصف الحادي عشر .

وكما سبق وذكرنا فإن هناك وحدات أخرى توجد خصوصا في أجهزة التحكم المبرمج المجزأة مثل :

- **وحدة نواقل (مسار) الاتصالات** : (Communication Bus Unit) : وتقوم هذه الوحدة بتوفير مسار الاتصالات اللازمة بين وحدة المعالجة المركزية، ووحدات الدخل، والخرج، والوحدات الخاصة . وتوجد هذه الوحدة كوحدة مستقلة في أجهزة المتحكم المنطقي المبرمج المجزأه. وتوفر هذه الوحدات النواقل اللازمة لعمل المتحكم وهي ناقل البيانات، وناقل المعلومات، وناقل التحكم .



شكل (١١)

- **وحدات الاتصالات** (Communications Units) : وتوجد هذه الوحدات كوحدات منفصلة في الأجهزة المجزأة، وهي تقوم بعملية الاتصالات بين المتحكم والأجهزة الأخرى مثل المتحكمات الأخرى وأجهزة الحاسوب . وتشمل هذه الوحدات وحدات الاتصال المتوالي ووحدات الاتصال مع الشبكات بأنواعها، الشكل(١١).

- **الوحدات الذكية** (Intelligent Modules) أو الخاصة : وهي وحدات تقوم بإجراء بعض المعالجة بمفردها مثل :

  - **وحدات التحكم التناسبي - التكاملي - التفاضلي** (PID) : وهي تحتوي على تجهيزات الدخل- الخرج اللازمة لدعم واحدة أو أكثر من حلقات التحكم (PID). وهي قادرة بشكل كاف على المعالجة الفعلية لأداء عمليات التحكم فيما تنحصر مهمة المعالج الرئيسي للمتحكم على عمليات المراقبة والإشراف على وحدات (وحدة) التحكم، بحيث يرسل المعالج مثلاً القيمة المطلوبة للمتغير إلى وحدة التحكم، بينما تؤدي الوحدة التحكم الفعلي في الزمن الحقيقي .


شكل (١٢)

أجهزة المتابعة والتعديل (Human Machine Interface)HMI :

يتم وصل هذا الجهاز بصورة دائمة مع جهاز المتحكم المنطقي المبرمج، ويعطي هذا الجهاز إمكانية تعديل ثوابت جميع المؤقتات الزمنية، والعدادات

الداخلية أثناء عمليات التشغيل للآلة بدون الحاجة إلى الدخول إلى البرنامج الأصلي المخزن في ذاكرة المتحكم . وكذلك يمكن استخدام هذا الجهاز في عمليات التحكم والتشغيل والإطفاء للآلة الصناعية . ويمكن كذلك عن طريق هذا الجهاز متابعة ومعرفة ما يدور داخل العملية الصناعية خلال العمل الطبيعي أو عرض حالات الأعطال عند حدوث عطل ما . ويجدر الانتباه إلى أن هذا الجهاز ليس أساسيا لعمل جهاز PLC وانما يتم وصله مع جهاز المتحكم المنطقي المبرمج للحصول على المزايا التشغيلية المذكورة أعلاه .

المبرمجات:

تختلف الوظائف والإمكانيات التي يمكن أن تقوم بها المبرمجات حسب نوعها ، وبشكل عام فإن المبرمج يجب ان يكون قادرا على القيام بالوظائف التالية :

١- كتابة برنامج التحكم باللغة المناسبه للجهاز .

٢- التأكد من بناء البرنامج بشكل متوائم مع التراكيب الصحيحة الملائمة للجهاز .

٣- نقل برنامج التحكم من المبرمج إلى الجهاز .

٤- حفظ البرامج المختلفة للتطبيقات المختلفة .

وبعد كتابة البرنامج ونقله إلى المتحكم فإن المتحكم يقوم بتخزين برنامج التحكم وتنفيذه باستمرار من دون الحاجة إلى الاتصال مع المبرمج .

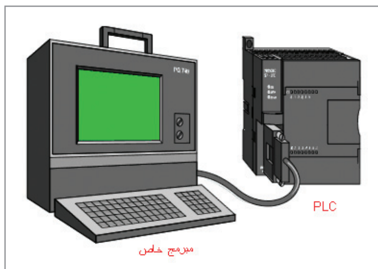
أنواع أجهزة البرمجة (المبرمجات) :

١- مبرمجات صغيرة (Hand Held Programmer) : وهذا النوع صغير الحجم، رخيص الثمن . ويقوم بأعمال البرمجة عندما يكون متصلا بالمتحكم . وهو يصلح عادة لنوع معين من المتحكمات حسب الشركة الصانعة . وهو محدود الأوامر ولا يمكنه إظهار عدة أوامر في نفس الوقت على الشاشة . ويمكن استخدامه في البيئة الصناعية عندما يتطلب الأمر إجراء تعديلات على فترات في برنامج التحكم .



شكل (١٣)

٢- مبرمجات خاصة (Dedicated Programmer) : وهي مكونة من لوحة مفاتيح وشاشة مع الدارات الإلكترونية اللازمة لتطوير وتعديل وتحميل البرنامج في المتحكم . وهو سهل الاستعمال ، ويمكن نقله من مكان إلى مكان ، كما أنه يقوم بإظهار عدة أجزاء من البرنامج في نفس الوقت . ويمكنه برمجة ومراقبة المتحكم . من الناحية الأخرى فإن تكلفته ليست منخفضة ، ويمكن استخدامه مع أنواع محددة من المتحكمات فقط بالإضافة إلى أن حجمه كبير نسبيا ووظائفه



شكل (١٤)

محدودة نوعا ما .



شكل (١٥)

٣- **الحاسوب** : انتشر استعمال الحاسوب كمبرمج للمتحكم المنطقي المبرمج (PLC)، حيث قام مصنعو أجهزة المتحكم المنطقي المبرمج بتطوير البرامج الخاصة لبرمجة المتحكمات التي يتم تثبيتها على أجهزة الحاسوب، ومن ثم القيام ببرمجة هذه المتحكمات عن طريق توصيل المتحكم بمخارج جهاز الحاسوب .

ويحتوي جهاز الحاسوب على جميع مميزات المبرمجات الخاصة، بالإضافة إلى مميزات أخرى كثيرة مثل إمكانيات التحرير والطباعة والأرشفة والتخزين للبرامج على وسائط متعددة كالأقراص الصلبة والمرنة والمضغوطة (CD) أو وحدات ذاكرة خارجية . وهذا يمكن من إعادة برمجة المتحكم بسهولة عند حدوث أي خلل في البرنامج الأصلي . كما يمكن تحويل البرنامج من لغة إلى أخرى بسهولة ويسر، مما يمكن المستخدم من دراسة وتحليل وتعديل البرنامج باللغة التي تناسبه . ويمكن القيام بعمليات الفحص لحالات المداخل والمخارج أو فحص تتابع عمل البرنامج بعد كل خطوة . كذلك فحص البرنامج من خلال تطابقه مع قواعد اللغة (Syntax) بالإضافة إلى التحكم بعمل المتحكم ومراقبة عمله خلال التشغيل (Online Monitoring) .

عمل الجهاز/ تنفيذ برنامج التشغيل للمستخدم :



شكل (١٦)

يتم تنفيذ برنامج التشغيل للمستخدم كجزء من عملية متكررة تسمى بالمسح (Scan) الشكل (١٦) تقوم وحدة المعالجة المركزية خلال عملية المسح بالخطوات التالية :

١- عند بدء تشغيل الجهاز يتم جعل حالة المخارج لتصبح في الحالة 0 .

٢- تتم قراءة حالة المداخل الحقيقية من وحدات الدخل وتخزينها في المساحة المخصصة لها في الذاكرة (صورة وحدات الإدخال) .

٣- يتم تنفيذ برنامج التشغيل للمستخدم خطوة خطوة مع الأخذ في الاعتبار حالة المداخل المخزنة في الذاكرة وليست اللحظية، وكذلك حالة وحدات الذاكرة والقيم الحالية للمؤقتات والعدادات . . . . . وتنقل نتائج تنفيذ البرنامج إلى المساحة المخصصة لوحدات الخرج في الذاكرة (صورة وحدات الخرج) وليس إلى المخارج الفعلية .

٤- تقوم وحدة المعالجة بعملية فحص ذاتي ولأجزاء الجهاز المختلفة كذلك، وتقوم بعمليات الاتصالات اللازمة مع الوحدات الطرفية الأخرى، كذلك مسح منطقة النظام للتأكد من نمط التشغيل المطلوب (RUN STOP) وفي حالة اكتشاف أي خلل يقوم الجهاز بإعطاء إشارة بذلك ويتوقف عن العمل .

٥- تنقل حالة المخارج من المساحة المخصصة لها في الذاكرة إلى المخارج الفعلية .

٦- ينتقل البرنامج إلى خطوة ٢ أعلاه، ويتم تنفيذ الخطوات ٥، ٤، ٣، ٢ بصورة دورية .

ويسمى الزمن اللازم للقيام بعملية مسح واحدة بزمن المسح، ويعتمد هذا الزمن على :

- حجم البرنامج .
- عدد المداخل والمخارج .
- حجم الاتصالات اللازمة .

وتستغرق عملية المسح عادة أجزاء من الثانية تتراوح من أعشار الميلي ثانية إلى بضع عشرات الميلي ثانية- وبما أن عملية المسح تتم بصورة مستمرة وبسرعة عالية، فإن المتحكم يقوم بالتحكم بالزمن الحقيقي للالة الموصول بها .

طرق البرمجة:

هناك عدة طرق لبرمجة المتحكم المنطقي (PLC) منها :

١- **المخطط السلمي (Ladder Diagram) :** وتختصر بالرمز(LAD). وهذه الطريقة أقرب ما تكون إلى مخطط مسار التيار المستخدم في الدارات الكهربائية ودارات التحكم، مع فارق أساسي وهي أنها ترسم بشكل أفقي وليس بشكل عمودي . ويكون هناك خطان عموديان أحدهما على الجهة اليسرى والآخر إلى اليمين ويمثلان مصدر التغذية . وتوصل الدارات على شكل تلامسات على شكل سلم بين هذين الخطين . وتتم قراءة هذه المخططات من اليسار إلى اليمين ومن الأعلى إلى الأسفل . وتتبع المخططات السلمية القواعد التالية :-

أ- تمثل الخطوط العمودية على الجانبين خطي مصدر التغذية الذي توصل به الدارات .

ب- تبدأ كل درجة بمدخل أو عدة مداخل وتنتهي بمخرج واحد على الأقل .

جـ- يتم رسم التلامسات في أوضاعها الطبيعية . فالمفتاح الذي يكون مفتوحاً بصورة طبيعية إلى أن يغلق بفعل أحد المؤثرات سوف يظهر مفتوحاً على المخطط السلمي، أما المفتاح المغلق بصورة طبيعية فإنه يظهر مغلقاً على المخطط .

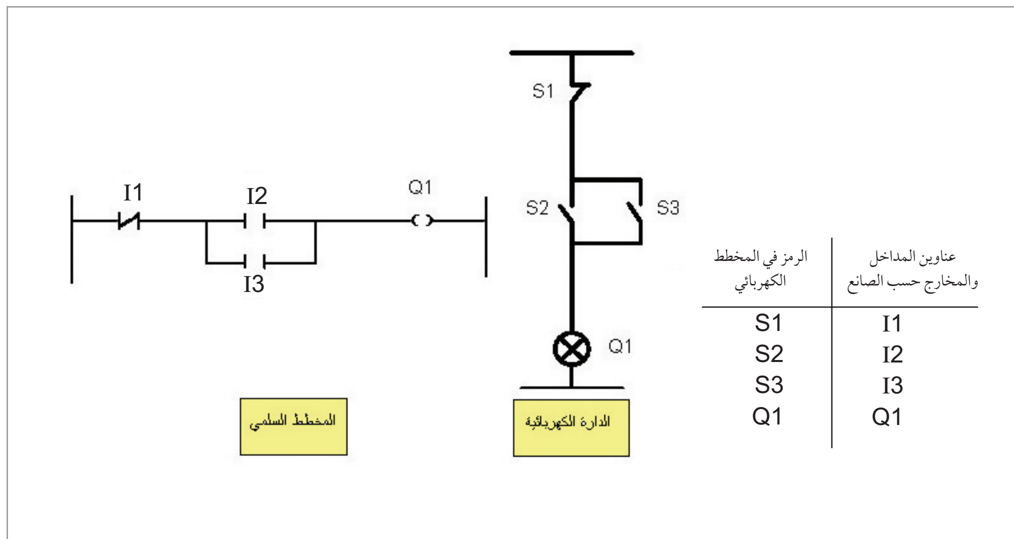
د- يمكن للتلامس التابع لجهاز معين أن يظهر في أكثر من درجة على السلم . فمثلاً يمكن لأحد مفاتيح التلامس أن يظهر في أكثر من درجة على السلم . وكذلك يمكن للتلامسات التابعة لمخرج أو مرحل داخلي ان تظهر في أكثر من درجة .

هـ- تعرف كل المداخل والمخارج والعناصر الأخرى كالمرحلات الداخلية والمؤقتات بعناوينها حسب الرموز المعتمدة من قبل صانع الجهاز .

الجدول التالي يربط بين رموز الدارة الكهربائية ورموز المخطط السلمي، الشكل(١٧) .

نوعه	الرمز وشكله في الدارة الكهربائية	الرمز وشكله في المخطط السلمي
	شكل الرمز	شكل الرمز
مفتاح مفتوح (NO)		
مفتاح مغلق (NC)		
حمل (خرج)		

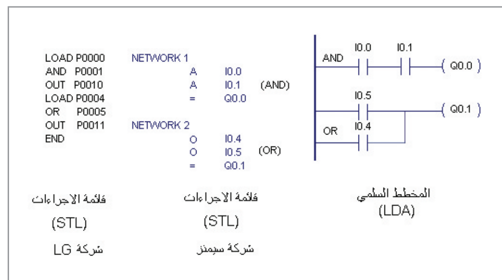
والشكل (١٨) يبين مخططا لدارة كهربائية والمخطط السلمي المناظر .



شكل (١٨)

ويجب الانتباه إلى أن مصنعي أجهزة المتحكمات قد قاموا ببرمجة كثير من الوظائف والعمليات كالتايمرات والعدادات على شكل صناديق وظيفية لتتم برمجتها من خلال المخططات السلمية .

٢- **قائمة الإجراءات (Statement List)** : وتختصر بالرمز (STL). وفي هذه الطريقة يتم وصف الدارة المراد التحكم بها بمجموعة أوامر . وهذه الطريقة أقرب ما يمكن إلى لغة التجميع (Assembly Language) المستخدمة في برمجة الحاسبات الشكل(١٩)، وهي مجموعة من الأوامر يعبر عنها بحروف كما يلي على سبيل المثال :

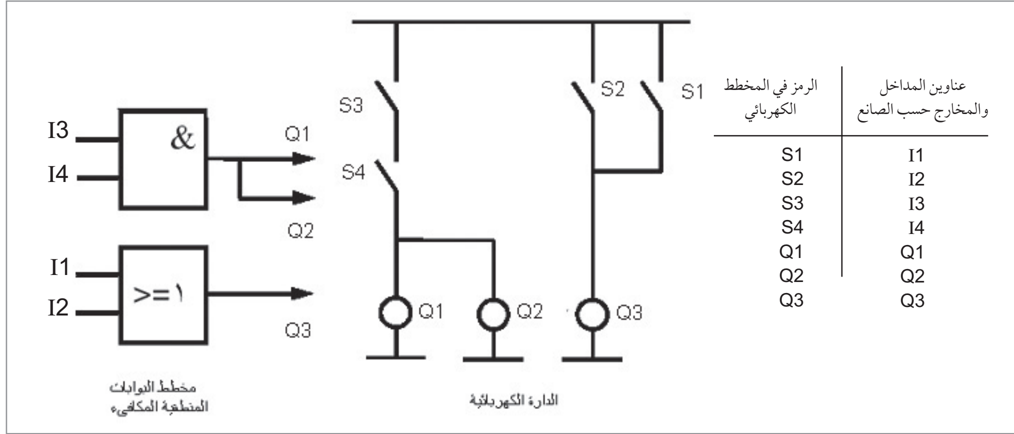


شكل (١٩)

أ- توصيل تلامسات على التوالي (AND) أو ما يدل على ذلك بلغة الشركة الصانعة .

ب- توصيل تلامسات على التوازي (OR) أو ما يدل على ذلك بلغة الشركة الصانعة .

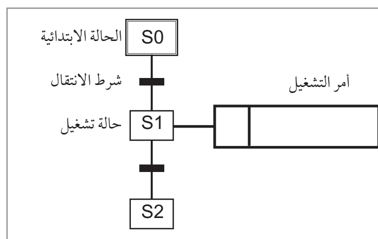
٣- **المخططات الصندوقية الوظيفية (Function Block Diagram)** : وتختصر بالرمز (FBD) وتسمى احيانا بتسميات أخرى مثل مخطط البوابات المنطقية أو (CSF) (Control System Flowchart) الشكل(٢٠) . وفي هذه الطريقة يتم استخدام البوابات المنطقية في تنفيذ عمليات التحكم .



شكل (٢٠)

٤- **البرمجة باللغات عالية المستوى** : أتاح بعض المصنعين إمكانية برمجة متحكماتهم باللغات الحاسوبية العالية المستوى مثل Pascal ، C ، Basic وغيرها . وتعدّ هذه اللغات ذات جدوى كبيرة جداً عند أداء المهام المعقدة التي قد تعد صعبة باللغات الأخرى مثل المخطط السلمي ، وذلك مثل مهام معالجة المعطيات رياضيا أو نقل كميات كبيرة من المعطيات لإظهار معلومات رسومية أو لأداء بعض الاتصالات عن طريق المنافذ .

٥- **البرمجة بواسطة (SFC) (Sequential Function Charts)** : وفيها تتم برمجة العملية الصناعية بواسطة مخططات تمثل الحالات أو المراحل المتتابعة التي تنتقل من خلالها العملية الصناعية مع تحديد المؤثرات التي تسبب الانتقال من حالة إلى أخرى بالإضافة إلى الأوامر التي سيتم تنفيذها عند كل حالة الشكل(٢١) .



شكل (٢١)

مميزات جهاز المتحكم المنطقي المبرمج (PLC)

١- وحدات ثابتة وموحدة .

٢- سهولة تنفيذ البرنامج قبل توصيله مع الآلة .

٣- توافر عدد كبير من المرحلات الداخلية والمؤقتات والعدادات وغيرها من الوظائف في جهاز واحد .

٤- عدد كبير من الملامسات المساعدة حيث يمكن تكرار استخدام نفس العنوان لعدد كبير من المرات .

٥- سهولة تنفيذ التعديلات وإصلاح الأخطاء : في اللوحات التقليدية فإن أي تغيير في عمل نظام التحكم يستلزم تغيير التوصيلات مما يتطلب وقتا وجهدا ، بينما يتم ذلك بواسطة تعديل البرنامج فقط في جهاز (PLC) .

٦- تكلفة أقل .

٧- حجم صغير .

٨- سهولة متابعة العملية الصناعية خلال العمل من خلال البرنامج على جهاز الحاسوب .

٩- سرعة العمل : حيث إن المعالج داخل الجهاز أسرع من عمل المرحلات التقليدية .

١٠- الاعتمادية والوثوقية : حيث إن اللوحات التقليدية تعتمد في عملها على المرحلات ذات طبيعة العمل الميكانيكية .

١١- سهولة التوثيق لبرامج التحكم .

١٢- الحماية من العبث بالبرنامج بواسطة كلمات السر .

١٣- يمكن تكرار البرنامج خلال ثوانٍ .

١٤- سهولة إمكانية إظهار دلالات تعبر عن أخطاء التشغيل في الآلات الصناعية .

برمجة المتحكم المنطقي المبرمج

سيتم تناول برمجة المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) من خلال دراسة كيفية برمجة الوظائف والعمليات المختلفة (مثل العمليات المنطقية ، والمرحلات الزمنية (التايمرات) والعدادات) كلاً على حدة في البداية ، ومن ثم يتم تناول التطبيقات التي قد تتطلب توافر أكثر من عملية في نفس التطبيق . وللقيام بعملية البرمجة سنقوم باعتماد المتحكم المنطقي المبرمج نوع LG-Master K10S . وعند القيام بعملية البرمجة لأي جهاز PLC يجب معرفة العناوين المختلفة المتاحة للمبرمج ، وذلك من الشركة الصانعة . وتشمل هذه العناوين على سبيل المثال :

عناوين المداخل (Input Addresses) :

شركة سيمنز : تبدأ عناوين المداخل بالحرف I مثلاً (I1 , 0 – I1 , 7) ، (I0 , 0 – I0 , 7) .

شركة LG : تبدأ عناوين المداخل بالحرف P مثلاً (P0000 – P0007) .

عناوين المخارج (Output Addresses) :

شركة سيمنز : تبدأ عناوين المخارج بالحرف Q مثلاً (Q1.0 - Q1.7).(Q 0.0 – Q 0.7)

شركة LG : تبدأ عناوين المخارج بالحرف P مثلاً (P0010 - P0015) .

عناوين المرحلات الداخلية (Flags) :

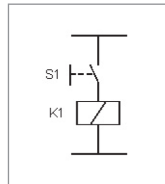
وتستخدم غالباً مجموعة من المصطلحات لوصف هذه العناصر مثل (المرحلات المساعدة– Auxiliary Relays) أو (المؤشرات –Markers) أو (الإعلام – Flags) وغيرها . وهذه المرحلات ليست مرحلات حقيقية ولكنها مجرد خانات (Bits) موجودة في الذاكرة التخزينية للجهاز ، ويتم التعامل معها بنفس طريقة التعامل مع المرحلات ، وهي تستخدم لحفظ المعطيات أو الحالات (الأوضاع) المختلفة للعملية الصناعية . وهي تتصرف بشكل مشابه للمرحلات ، أي قادرة على الوصل (ON) أو الفصل (OFF) مع وجود ميزة إضافية من ناحية إمكانية اعتبار كل مرحل داخلي مجهزا بعدد لانهائي من الملامسات المساعدة المغلقة (NC) أو المفتوحة (NO) . وهذا يعطي إمكانيات أكبر عند البرمجة ويسهل عملية البرمجة . ويوجد في جهاز (PLC) عدد كبير من هذه المرحلات يعتمد عددها على موديل الجهاز والصانع . وتختلف عناوين هذه المرحلات من شركة إلى أخرى . فمثلاً في شركة سيمنز : تبدأ عناوين المرحلات الداخلية بالحرف M (M0 - M255.7) ، شركة K10S - LG : تبدأ عناوين المرحلات الداخلية بالحرف M (M0000 – M031F) وبالتالي يبلغ عددها 512 .

العمليات الأساسية والمنطقية

من أجل برمجة المتحكم المنطقي المبرمج للتحكم بالعمليات الصناعية يجب تعيين عنوان معين لكل من المداخل والمخارج . وهذا العنوان مخصص من صانع الجهاز ويجب الالتزام به في عمليات البرمجة . ولهذا ومن أجل تسهيل عملية البرمجة يتم كتابة قائمة التخصيص (Assignment List) التي تحدد عنوان كل من المداخل والمخارج التي تم اختيارها التي سيتم اعتمادها خلال عملية البرمجة للجهاز المراد التحكم به .

ملامس مفتوح مع مخرج :

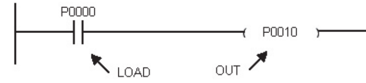
يبين الشكل (٢٢) المخطط الكهربائي لملامس مفتوح مع مخرج



الشكل(٢٢)

قائمة التخصيص			
	العنوان	الرمز	ملاحظات
المداخل	P0000	S1	ضاغط (NO)
المخارج	P0010	K1	مخرج

المخطط السلمي (Ladder Diagram) (LDA) :



قائمة الإجراءات (Statement List) (STL) :

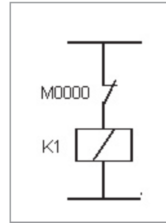
Step	Command	
0	LOAD	P0000
1	OUT	P0010
2	END	

تستخدم الوظيفة (LOAD) في بداية السطر لتحميل ملامس مفتوح حيث تأخذ النتيجة المنطقية للوظيفة (1) إذا كان الملامس مغلقاً، و(0) إذا كان الملامس مفتوحاً. وتستخدم الوظيفة OUT من أجل إعطاء العنوان المسمى في الوظيفة OUT نتيجة العمليات المنطقية التي تسبق الوظيفة OUT وهي إما 1 ON أو 0 OFF.

أما الوظيفة END التي يجب أن توضع في نهاية البرنامج، فهي تبين للمعالج نهاية البرنامج ليتوقف المعالج عن تنفيذ الأوامر ويعود إلى بداية البرنامج؛ مما يساعد على سرعة تفاعل المتحكم مع العملية الصناعية.

ملامس مغلق مع مخرج :

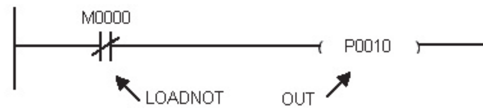
يبين الشكل (٢٣) المخطط الكهربائي لملامس مغلق مع مخرج.



الشكل(٢٣)

قائمة التخصيص			
ملاحظات	الرمز	العنوان	
ملامس (NC)	M0000	M0000	المداخل
مخرج	K1	P0010	المخارج

المخطط السلمي (LDA) :



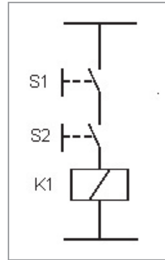
قائمة الإجراءات (STL) :

Step	Command	
0	LOAD NOT	M0000
1	OUT	P0010
2	END	

وتستخدم الوظيفة (LOAD NOT) لتحميل ملامس مغلق حيث تأخذ النتيجة المنطقية للوظيفة القيمة (1) إذا كان المرحل M0000 في حالة عدم التشغيل.

■ تلامسين مفتوحين على التوالي :

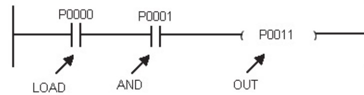
يبين الشكل (٢٤) المخطط الكهربائي لتلامسان مفتوحان على التوالي .



الشكل (٢٤)

قائمة التخصيص			
	العنوان	الرمز	ملاحظات
المداخل	P0000	S1	ضاغط تشغيل (NO)
	P0001	S2	ضاغط تشغيل (NO)
المخارج	P0011	K1	مخرج

المخطط السلمي (LDA) :



قائمة الإجراءات (STL) :

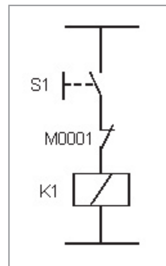
Step	Command	
0	LOAD	P0000
1	AND	P0001
2	OUT	P0011
3	END	

■ المخطط الصندوقي الوظيفي : (FBD)



■ ملامس مغلق على التوالي مع ملامس مفتوح :

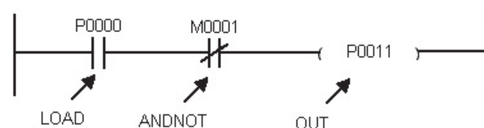
يبين الشكل (٢٥) المخطط الكهربائي لملامس مغلق على التوالي مع ملامس مفتوح .



الشكل (٢٥)

قائمة التخصيص			
	العنوان	الرمز	ملاحظات
المداخل	P0000	S1	ضاغط (NO)
	M0001	M0001	ملامس (NC)
المخارج	P0011	K1	مخرج

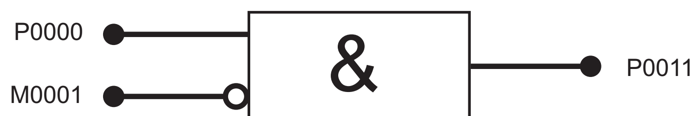
المخطط السلمي (LDA) :



قائمة الإجراءات (STL) :

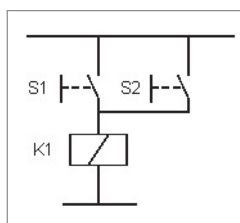
Step	Command	
0	LOAD	P0000
1	AND NOT	M0001
2	OUT	P0011
3	END	

المخطط الصندوقي الوظيفي : (FBD)



ملامسان مفتوحان على التوازي :

يبين الشكل (٢٦) المخطط الكهربائي لملامسين مفتوحين على التوازي.



الشكل(٢٦)

قائمة التخصيص			
	العنوان	الرمز	ملاحظات
المداخل	P0000	S1	ضاغط تشغيل (NO)
	P0001	S2	ضاغط تشغيل (NO)
المخارج	P0011	K1	مخرج

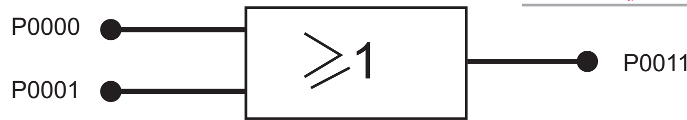
المخطط السلمي (LDA) :



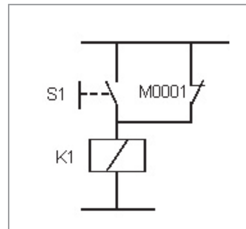
قائمة الإجراءات (STL) :

Step	Command	
0	LOAD	P0000
1	OR	P0001
2	OUT	P0011
3	END	

المخطط الصندوقي الوظيفي : (FBD)



ملامس مغلق على التوازي مع ملامس مفتوح :



الشكل (٢٧)

يبين الشكل (٢٧) المخطط الكهربائي لملامس مغلق على التوازي مع ملامس مفتوح.

قائمة التخصيص			
ملاحظات	الرمز	العنوان	
ضاغط تشغيل (NO)	S1	P0003	المداخل
ملامس (NC)	M0001	M0001	
مخرج	K1	P0012	المخارج

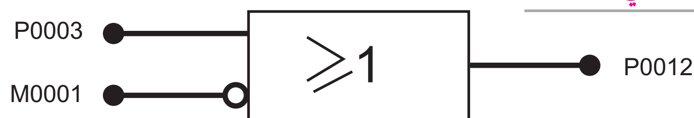
المخطط السلمي (LDA) :



قائمة الإجراءات (STL) :

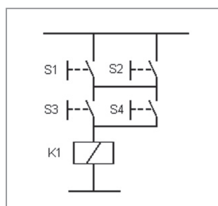
Step	Command	
0	LOAD	P0003
1	OR NOT	M0001
2	OUT	P0012
3	END	

المخطط الصندوقي الوظيفي : (FBD)



مجموعة موصولة من التلامسات موصولة على التوالي مع مجموعة موصولة أخرى من التلامسات :

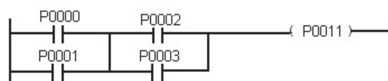
يبين الشكل (٢٨) المخطط الكهربائي مجموعة موصولة من التلامسات موصولة على التوالي مع مجموعة موصولة أخرى من التلامسات .



الشكل (٢٨)

قائمة التخصيص			
ملاحظات	الرمز	العنوان	
ضاغط (NO)	S1	P0000	المداخل
ضاغط (NO)	S2	P0001	
ضاغط (NO)	S3	P0002	
ضاغط (NO)	S4	P0003	
مخرج	K1	P0011	المخارج

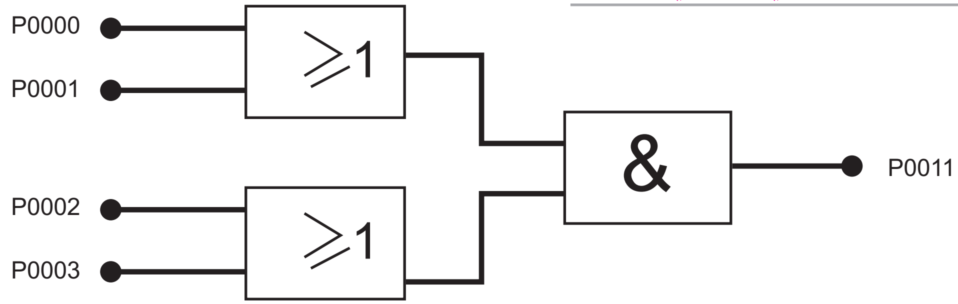
المخطط السلمي (LDA) :



قائمة الإجراءات (STL) :

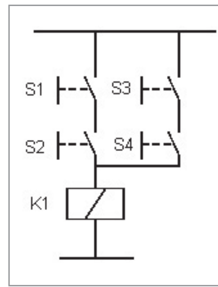
Step	Command	
0	LOAD	P0000
1	OR	P0001
2	LOAD	P0002
3	OR	P0003
4	AND LOAD	
5	OUT	P0011
6	END	

المخطط الصندوقي الوظيفي : (FBD)



مجموعة موصولة من التلامسات على التوازي مع مجموعة موصولة أخرى من التلامسات :

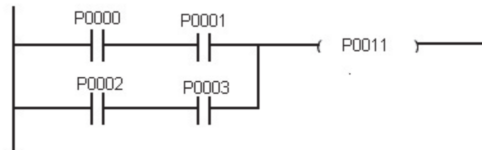
يبين الشكل (٢٩) المخطط الكهربائي لمجموعة موصولة من التلامسات على التوازي مع مجموعة موصولة أخرى من التلامسات .



الشكل(٢٩)

قائمة التخصيص			
	العنوان	الرمز	ملاحظات
المداخل	P0000	S1	ضاغط (NO)
	P0001	S2	ضاغط (NO)
	P0002	S3	ضاغط (NO)
	P0003	S4	ضاغط (NO)
المخارج	P0011	K1	مخرج

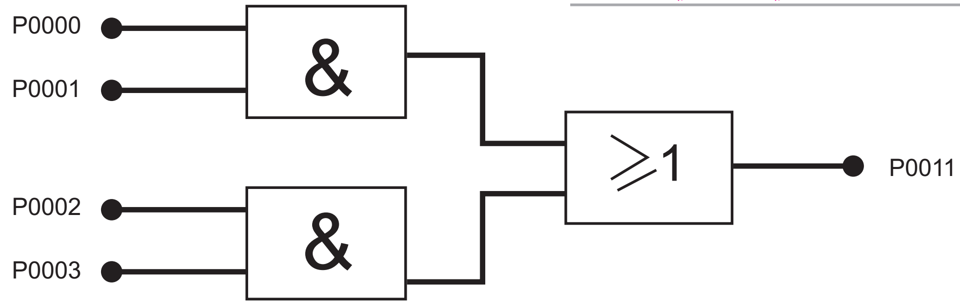
المخطط السلمي (LDA) :



قائمة الإجراءات (STL) :

Step	Command	
0	LOAD	P0000
1	AND	P0001
2	LOAD	P0002
3	AND	P0003
4	OR LOAD	
5	OUT	P0011
6	END	

المخطط الصندوقي الوظيفي : (FBD)

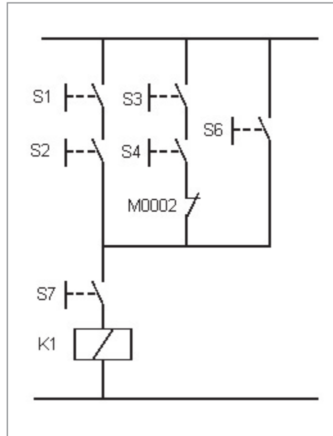


مثال:

ارسم المخطط السلمي (LDA)، واكتب قائمة الإجراءات، وارسم المخطط الصندوقي الوظيفي للدارة التالية الشكل (٣٠).

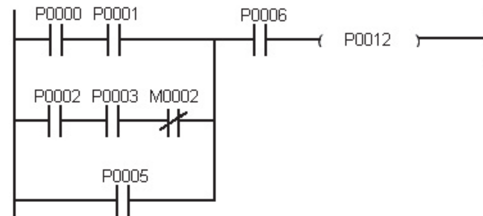
الحل:

قائمة التخصيص			
	العنوان	الرمز	ملاحظات
المداخل	P0000	S1	ضاغط (NO)
	P0001	S2	ضاغط (NO)
	P0002	S3	ضاغط (NO)
	P0003	S4	ضاغط (NO)
	M0002	M0002	ملامس (NC)
	P0005	S6	ضاغط (NO)
	P0006	S7	ضاغط (NO)
المخارج	P0012	K1	مخرج



المخطط الكهربائي : الشكل (٣٠)

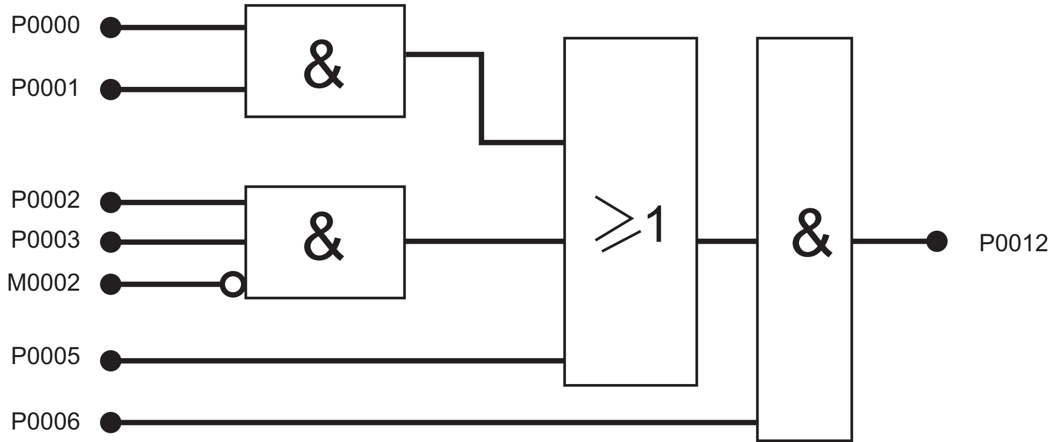
المخطط السلمي (LDA) :



قائمة الإجراءات (STL) :

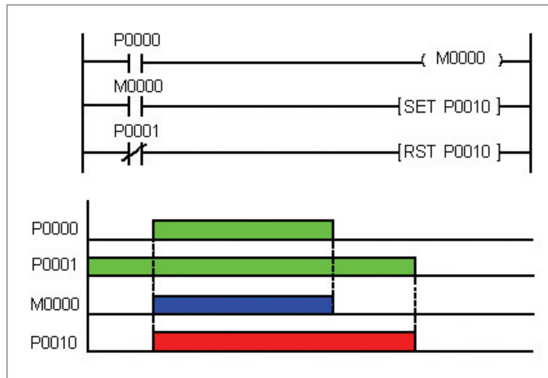
Step	Command	
0	LOAD	P0000
1	AND	P0001
2	LOAD	P0002
3	AND	P0003
4	AND NOT	M0002
5	OR LOAD	
6	OR	P0005
7	AND	P0006
8	OUT	P0012
9	END	

المخطط الصندوقي الوظيفي : (FBD)



وظيفة الوضع وإعادة الوضع (SET ، RESET) (النطاط) (Flip - Flop) :

وهي إحدى الوظائف الهامة في المتحكمات المنطقية المبرمجة . ففي حالة الوضع (SET) يتم وضع أي تشغيل أي مخرج أو مرحل داخلي بواسطة إعطاء إشارة لحظية من مدخل أو من مرحل داخلي اخر أو غيره، حيث يبقى العنوان الذي تم تحويله إلى حالة الوضع على تلك الحالة حتى بعد زوال الإشارة إلى أن يتم إعطاء إشارة لحظية أخرى لإعادة الوضع أو التصفير (RESET) . ويبين المخطط التالي عمل وكيفية برمجة وظيفة النطاط (الوضع وإعادة الوضع) بواسطة ضاغط للوضع (NO) وضاغط لإعادة الوضع (NC) الشكل (٣٢) .



المخطط الكهربائي : الشكل (٣٢)

وفي حالة تطبيق كل من إشارة الوضع وإعادة الوضع إلى نفس العنوان وفي نفس الوقت، فإن جهاز المتحكم

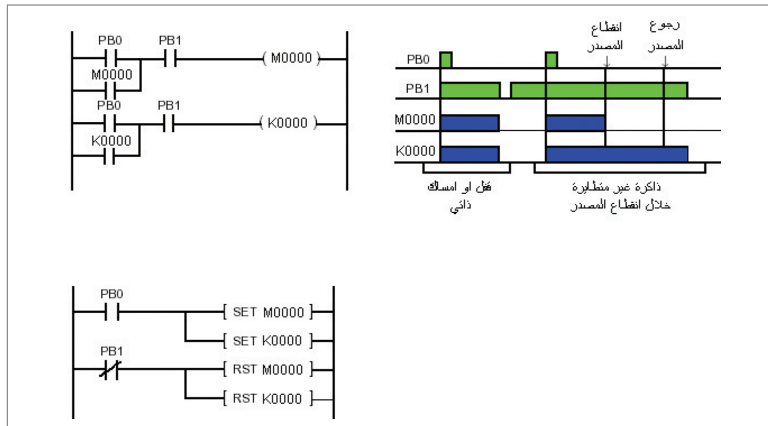
سيطبق الأمر الأخير في البرنامج ، (أي الأمر ذا رقم الخطوة الأعلى) .

سؤال :

اكتب قائمة الإجراءات للمخطط السلمي في الشكل (٣٢) .

المرحلات الداخلية الحافظة (Retentive Relays) :

عند انقطاع مصدر التغذية عن جهاز المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) اثناء التشغيل فإن مرحلات الخرج وجميع المرحلات الداخلية العادية ستصبح مفصولة . وعند عودة مصدر التغذية مرة أخرى فإن حالة مرحلات الخرج والدخل ستأخذ حالة مختلفة عما كانت عليه قبل الانقطاع . فإذا كان المتحكم في وسط إحدى عمليات التحكم التتابعية ، فإن المتحكم سيبدأ عمله عند نقطة أخرى في سلسلة التحكم، ولن يتابع سلسلة التحكم من النقطة التي وصل إليها قبل انقطاع مصدر التغذية . وفي بعض حالات التحكم قد يسبب ذلك خطورة أو خسائر مادية أو إرباكاً في العمل . ولتجاوز هذه المشكلة يتم تزويد أجهزة (PLC) بمرحلات داخلية خاصة تحتفظ بحالتها عند انقطاع مصدر التغذية تسمى بالمرحلات الحافظة . وتأخذ هذه المرحلات وعددها 256 (K0000- K015F)في المتحكمات من نوع (LG – K10S) .

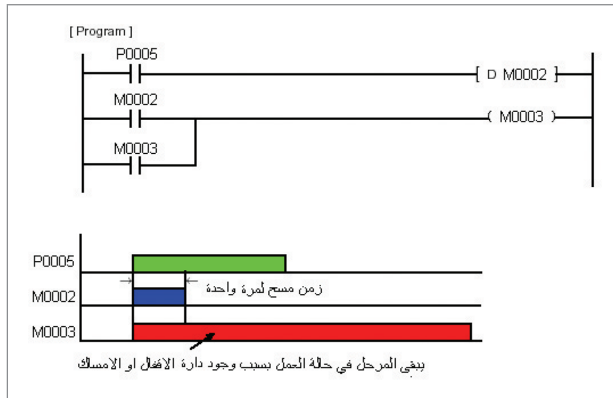


المخطط الكهربائي : الشكل (٣٣)

ويبين الشكل(٣٣) الفرق في عمل المرحلات الداخلية العادية والمرحلات الحافظة . حيث يتضح أن المرحلات الداخلية الحافظة تحتفظ بحالتها عند انقطاع مصدر الطاقة .

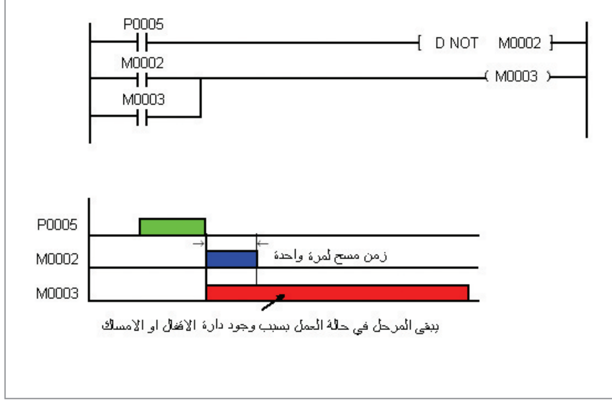
عملية الشوط الواحد (One-Shot Operation) :

وهذه الوظيفة موجودة في كثير من المتحكمات المنطقية . وهي تعطي إمكانية تشغيل أحد المخارج أو المرحلات الداخلية لدورة عمل واحدة (زمن مسح واحد للبرنامج) وذلك عند الطرف الصاعد أو الطرف الهابط لإشارة الدخل . ويبين المخطط التالي عمل وكيفية برمجة عملية الشوط الواحد عند الطرف الصاعد لإشارة الدخل ، الشكل(٣٤) .



المخطط الكهربائي : الشكل (٣٤)

أما المخطط التالي فيبين عمل وكيفية برمجة عملية الشوط الواحد عند الطرف الهابط لإشارة الدخل الشكل(٣٥) .



المخطط الكهربائي : الشكل (٣٥)

المؤقتات (Timers):

تعد وظيفة المؤقت أو التايمر من أهم الوظائف في أنظمة التحكم والأتمتة الصناعية . فزمن الخطوات مثل إبقاء مخارج العمليات الصناعية في وضع التشغيل أو الإطفاء لزمن معين هو امر ضروري في العمليات الصناعية، وكذلك تأخير عمل بعض الخطوات عن البعض الآخر بزمن معين لاغنى عنه في الآلات الصناعية .

وهناك عدة أنواع من المؤقتات في المتحكمات المنطقية (PLC) بعضها يتشابه بين جميع المصنعين وبعضها يختلف في تفاصيل العمل من صانع إلى آخر . وينظر البعض إلى المؤقتات تجاوزاً ومن أجل التبسيط على أنها نوع من المرحلات المزودة بملفات، بحيث يتم عند تشغيلها بالطريقة المطلوبة إغلاق أو فتح تلامسات بالاعتماد على الزمن المضبوط للمؤقت . وعليه عند برمجة المؤقت يتم اعتبار ملف تشغيل المؤقت كخرج لمجموعة من التلامسات التي تقوم بتشغيل الملف (في إحدى درجات المخطط السلمي)، بينما يقوم خرج المؤقت (الذي يمكن النظر إلى إحدى صوره على شكل تلامسات) بإتمام عملية التحكم في درجة أخرى من المخطط .

وينظر البعض الآخر إلى المؤقتات كصناديق مهمتها التحكم بتوقيت وزمن وصول الإشارة إلى الخرج .

ويتم ضبط زمن المؤقت بالاعتماد على القيمة المضبوطة أو قيمة الوضع المسبق (Preset-Value) والقاعدة الزمنية للمؤقت . فإذا كانت القاعدة الزمنية للمؤقت 10 msec والقيمة المضبوطة للمؤقت 1000 فإن

زمن المؤقت (زمن التوقيت) = القيمة المضبوطة للمؤقت x القاعدة الزمنية للمؤقت

= 1000 x 10msec

= 10 sec

وكما في حالة المرحلات الداخلية، يوجد هناك مؤقتات داخل المتحكم المنطقي المبرمج تسمى مؤقتات حافظة (Retentive Timers) حيث تحتفظ هذه المؤقتات بالزمن المنقضي حتى عند انقطاع مصدر القدرة . وفي المتحكمات نوع LG-K10S يوجد 128 مؤقتاً يمكن استخدامها وبرمجتها لتعمل على أي نوع من المؤقتات التي سنشرحها . وفيما يلي عناوين المؤقتات في جهاز LG-K10S :

عدد المؤقتات المتاحة : 128

بقاعدة زمنية 100msec : T0000 – T0095

بقاعدة زمنية 10msec : T0096 – T0127

مؤقتات حافظة :

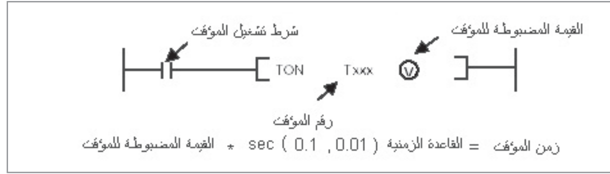
بقاعدة زمنية 100msec : T0072 – T0095

بقاعدة زمنية 10msec : T0120 – T0127

أنواع المؤقتات :

مؤقت تأخير الوصل (ON – delay Timer) :

يبين الشكل (٣٦) كيفية برمجة هذا المؤقت . حيث الرمز (TON) يحدد أن المؤقت ذا الرقم (---T) سوف يستخدم كمؤقت لتأخير الوصل . فيما يتحدد زمن المؤقت حسب القيمة المضبوطة والقاعدة الزمنية . ويعمل هذا المؤقت كما يلي :



الشكل(٣٦)

١- يتكون المؤقت من تلامس المؤقت ، والقيمة الحالية ، والقيمة المضبوطة .

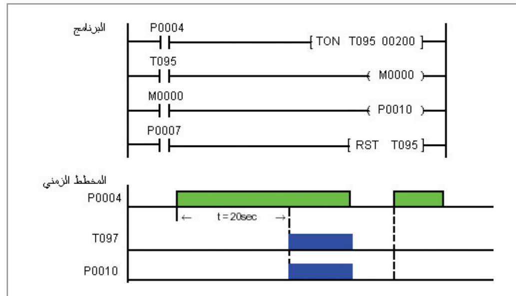
٢- عند تحقق شروط التشغيل تبدأ القيمة الحالية للمؤقت بالزيادة حسب القاعدة الزمنية للمؤقت كل sec (0.01,0.1) حتى تصل القيمة الحالية إلى القيمة المضبوطة أو تصبح شروط التشغيل غير متحققة لعمل المؤقت .

٣- عند وصول القيمة الحالية إلى القيمة المضبوطة فإن ملامس (ملامسات) المؤقت يتحول إلى وضع التشغيل (ON) .

٤- تصبح القيمة الحالية للمؤقت مساوية للصفر ويتحول ملامس المؤقت إلى وضع الإطفاء عند عدم تحقق شروط التشغيل أو إعطاء إشارة إعادة الوضع (التصفير) (RST) للمؤقت .

ويبين الشكل (٣٧) كيفية برمجة مؤقت تأخير الوصل لتشغيل مخرج (P0010)بعد 20 ثانية من عمل المدخل(P0004) .

ويمكن كتابة قائمة الإجراءات (STL) للمخطط السلمي في الشكل أعلاه كما يلي :



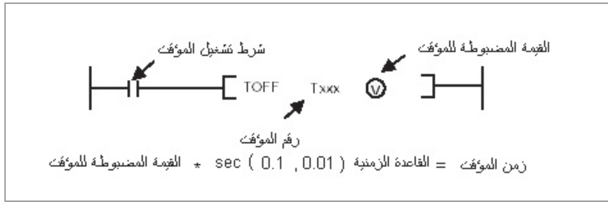
الشكل(٣٧)

قائمة الإجراءات (STL) :

Step	Command		
0	LOAD	P0004	
1	TON	T095	00200
2	LOAD	T095	
3	OUT	M0000	
4	LOAD	M0000	
5	OUT	P0010	
6	LOAD	P0007	
7	RST	T097	
8	END		

■ مؤقت تأخير الفصل (OFF – delay Timer) :

يبين الشكل (٣٨) كيفية برمجة هذا المؤقت . حيث إن الرمز (TOFF) يحدد أن المؤقت ذا الرقم (T--) سوف يستخدم كمؤقت لتأخير الفصل . فيما يتحدد زمن المؤقت حسب القيمة المضبوطة والقاعدة الزمنية . ويعمل هذا المؤقت كما يلي :



الشكل (٣٨)

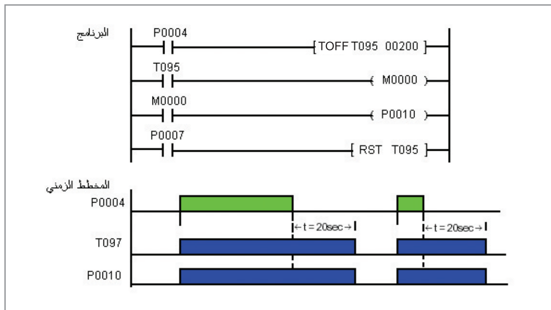
١ – يتكون المؤقت من تلامس المؤقت ، والقيمة الحالية ، والقيمة المضبوطة .

٢ – فور تحول إشارة شروط تشغيل المؤقت من حالة (OFF) إلى الحالة (ON) يتحول خرج المؤقت (ملامس المؤقت) إلى حالة التشغيل ، وتصبح القيمة الحالية للمؤقت مساوية للقيمة المضبوطة للمؤقت .

٣– يستمر الوضع كما في بند ٢ أعلاه إلى أن تتحول إشارة تشغيل المؤقت من الحالة(ON) إلى الحالة (OFF) . عند ذلك تبدأ القيمة الحالية للمؤقت بالنقصان حسب القاعدة الزمنية للمؤقت . وعند وصول هذه القيمة إلى الصفر يتحول خرج المؤقت إلى الحالة OFF .

٤ – يتم جعل القيمة الحالية للمؤقت مساوية للصفر ، وبالتالي خرج المؤقت في الحالة (OFF) في أي لحظة وذلك بإعطاء إشارة إعادة الوضع (التصفير) (RST) للمؤقت .

ويبين الشكل (٣٩) كيفية برمجة مؤقت تأخير الفصل لتشغيل مخرج (P0010) بعد 20 ثانية من فصل المدخل P0004 .



الشكل (٣٩)

وتكون قائمة الإجراءات للمخطط المرسوم مشابه تماما لقائمة الإجراءات المكتوبه في مؤقت تأخير الوصل اعلاه ، وذلك لكون الدارة الكهربائية متشابه في الحالتين . ويكون الإختلاف الوحيد هو بالطبع ضرورة برمجة

المؤقت ليكون من نوع تأخير الفصل (TOFF) بدل (TON) . ورغم هذا التشابه الكبير في البرمجة، إلا أن هناك اختلافاً كبيراً في عمل المخرج في الحالتين .

المؤقت التكاملي (Integrating Timer) :

يبين الشكل (٤٠) كيفية برمجة هذا المؤقت . حيث إن الرمز (TMR) يحدد أن المؤقت ذا الرقم (T---) سوف يستخدم كمؤقت تكاملي . فيما يتحدد زمن المؤقت حسب القيمة المضبوطة والقاعدة الزمنية .



الشكل(٤٠)

ويعمل هذا المؤقت كما يلي :

١- يتكون المؤقت من تلامس المؤقت، والقيمة الحالية، والقيمة المضبوطة .

٢- طالما تحققت شروط تشغيل المؤقت فإن القيمة الحالية للمؤقت تستمر في الزيادة .

٣- إذا أصبحت شروط تشغيل المؤقت بعد ذلك غير متحققة فإن المؤقت يقوم بحفظ القيمة الحالية حتى في حالة عدم تحقق شروط التشغيل .

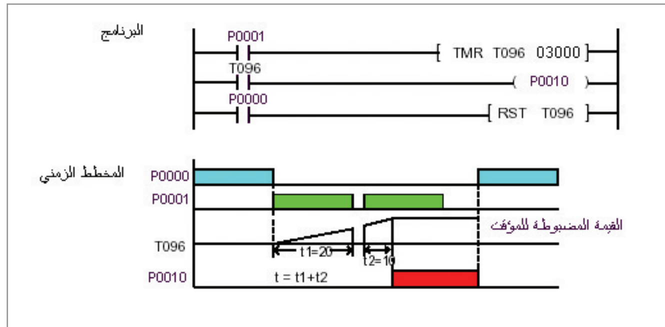
٤- عند وصول القيمة الحالية للمؤقت إلى القيمة المضبوطة، يتحول خرج المؤقت إلى حالة التشغيل (ON) .

٥- عند استعمال المؤقتات الحافظة كمؤقتات تكاملية فإن هذه المؤقتات تقوم بحفظ القيمة الحالية حتى عند انقطاع مصدر الطاقة عن الجهاز .

٦- عند إعطاء إشارة إعادة الوضع (التصفير) (RST) للمؤقت، فإن خرج المؤقت يتحول إلى الحالة (OFF) .

كما أن القيمة الحالية للمؤقت تصبح مساوية للصفر .

ويبين الشكل (٤١) كيفية برمجة مؤقت تكاملي لتشغيل مخرج (P0010) إذا تم إعطاء إشارة على المدخل (P0001) لفترة أو فترات زمنية مجموعها 30 ثانية . ويقوم المدخل (P0000) بإعطاء إشارة إعادة الوضع للمؤقت .



الشكل(٤١)

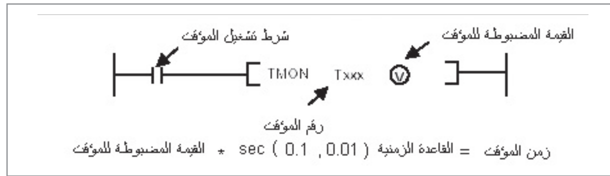
ويمكن كتابة قائمة الإجراءات (STL) للمخطط السلمي في الشكل أعلاه كما يلي :

قائمة الإجراءات (STL) :

Step	Command		
0	LOAD	P0001	
1	TMR	T096	03000
2	LOAD	T096	
3	OUT	P0010	
4	LOAD	P0000	
5	RST	T096	
6	END		

المؤقت أحادي النبضة (TMON) (Monostable Timer) :

يبين الشكل (٤٢) كيفية برمجة هذا المؤقت . حيث إن الرمز (TMON) يحدد أن المؤقت ذا الرقم (---T) سوف يستخدم كمؤقت أحادي النبضة . فيما يتحدد زمن المؤقت حسب القيمة المضبوطة والقاعدة الزمنية . ويعمل هذا المؤقت كما يلي :



الشكل (٤٢)

١- يتكون المؤقت من تلامس المؤقت ، والقيمة الحالية ، والقيمة المضبوطة .

٢- فور تحول إشارة شروط تشغيل المؤقت من حالة (OFF) إلى الحالة (ON) يتحول خرج المؤقت (ملامس المؤقت) إلى حالة التشغيل وتصبح القيمة الحالية للمؤقت مساوية للقيمة المضبوطة للمؤقت .

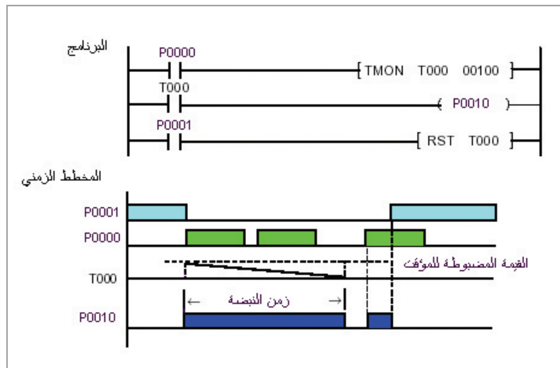
٣- تبدأ القيمة الحالية للمؤقت بالنقصان حسب القاعدة الزمنية للمؤقت . وعند وصول هذه القيمة إلى الصفر يتحول خرج المؤقت إلى الحالة (OFF) مرة أخرى .

٤- تحول شروط التشغيل إلى الحالة (ON) أو (OFF) بعد تحول خرج المؤقت إلى الحالة (ON) لا يؤثر على عمل المؤقت .

٥- عند إعطاء إشارة إعادة الوضع (التصفير) (RST) للمؤقت ، فإن خرج المؤقت يتحول إلى الحالة (OFF) . كما أن القيمة الحالية للمؤقت تصبح مساوية للصفر .

ويبين الشكل (٤٣) كيفية برمجة مؤقت أحادي النبضة لتشغيل مخرج (P0010) عند تحول إشارة المدخل (P0000) إلى الحالة (ON) وذلك لفترة زمنية تساوي 10 ثوانٍ . ويقوم المدخل (P0001) بإعطاء إشارة إعادة الوضع للمؤقت .

ويمكن كتابة قائمة الإجراءات (STL) للمخطط السلمي في الشكل أعلاه كما يلي :



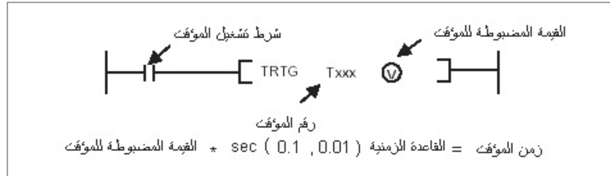
الشكل (٤٣)

قائمة الإجراءات (STL) :

Step	Command		
0	LOAD	P0000	
1	TMON	T000	00100
2	LOAD	T000	
3	OUT	P0010	
4	LOAD	P0001	
5	RST	T000	
6	END		

المؤقت أحادي النبضة مع إمكانية إعادة القدح (TRTG) (Retriggerable Monostable Timer) :

يبين الشكل (٤٤) كيفية برمجة هذا المؤقت . حيث إن الرمز (TRTG) يحدد أن المؤقت ذا الرقم (---T) سوف يستخدم كمؤقت أحادي النبضة مع إمكانية إعادة القدح . فيما يتحدد زمن المؤقت حسب القيمة المضبوطة والقاعدة الزمنية . ويعمل هذا المؤقت كما يلي :



الشكل (٤٤)

١- يتكون المؤقت من تلامس المؤقت، والقيمة الحالية، والقيمة المضبوطة.

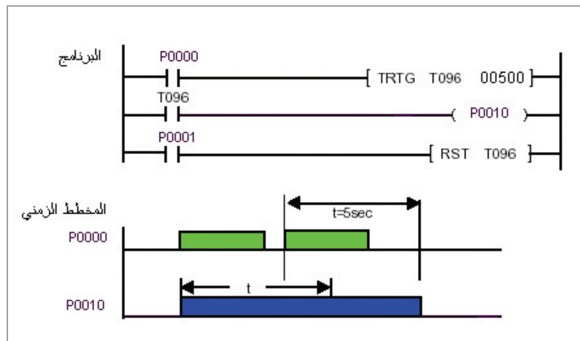
٢- فور تحول إشارة شروط تشغيل المؤقت من حالة (OFF) إلى الحالة (ON) يتحول خرج المؤقت (ملامس المؤقت) إلى حالة التشغيل، وتصبح القيمة الحالية للمؤقت مساوية للقيمة المضبوطة للمؤقت .

٣- تبدأ القيمة الحالية للمؤقت بالنقصان حسب القاعدة الزمنية للمؤقت . وعند وصول هذه القيمة إلى الصفر يتحول خرج المؤقت إلى الحالة (OFF) مرة أخرى .

٤- إذا تحولت إشارة شروط تشغيل المؤقت من الحالة (OFF) إلى الحالة (ON) مرة أخرى قبل وصول القيمة الحالية للمؤقت إلى الصفر، فإن القيمة الحالية للمؤقت تصبح القيمة المضبوطة، ويبقى المؤقت في الحالة (ON)، وفقط عندما تصبح القيمة الحالية مساوية للصفر فإن المؤقت يتحول إلى الحالة (OFF) .

٥- عند إعطاء إشارة إعادة الوضع (التصفير) (RST) للمؤقت، فإن خرج المؤقت يتحول إلى الحالة (OFF). كما أن القيمة الحالية للمؤقت تصبح مساوية للصفر .

ويبين الشكل (٤٥) كيفية برمجة مؤقت أحادي النبضة مع إمكانية إعادة القدح لتشغيل مخرج (P0010) من إشارة المدخل (P0000) لفترة زمنية تساوي 5 ثوانٍ .



الشكل (٤٥)

ويقوم المدخل (P0001) بإعطاء إشارة إعادة الوضع للمؤقت .

ويمكن كتابه قائمة الإجراءات (STL) للمخطط السلمي في الشكل أعلاه كما يلي :

قائمة الإجراءات (STL) :

Step	Command		
0	LOAD	P0000	
1	TRTG	T096	00500
2	LOAD	T096	
3	OUT	P0010	
4	LOAD	P0001	
5	RST	T096	
6	END		

العدادات (Counters)

تعد العدادات إحدى الوظائف المهمة في أجهزة المتحكم المنطقي المبرمج . ففي العادة يلزم عد القطع التي تم إنتاجها، ويلزم كذلك عد القطع المنتجة على سير ناقل تمهيدا لتغليفها أو تعبئتها في عبوة واحدة، بالإضافة إلى كثير من التطبيقات التي تستلزم جميعها وجود عداد في الآلات الصناعية .

وتوجد عدة أنواع من العدادات منها العداد التصاعدي والعداد التنازلي وغيرها . ويمكن النظر إلى العدادات تجاوزا ومن أجل التبسيط على أنها تتكون من عنصرين أساسيين : العنصر الأول هو ملفا العداد حيث يقوم أحد الملفين بعد نبضات الدخل، بينما يقوم الملف الثاني بتصفير العداد . أما العنصر الثاني فهو خرج العداد الذي تكون إحدى صوره على شكل ملامسات تتحول إلى حالة التشغيل عند الوصول إلى العدد المطلوب . وبناءً على القيمة المضبوطة للعداد (العدد المراد عده) ونبضات الدخل التي يقوم العداد بعدها ونوع العداد، يقوم العداد بتغيير القيمة الحالية للعداد التي عندما تصل إلى قيمة معينة يقوم العداد بإعطاء إشارة الخرج من أجل التحكم بالعملية الصناعية .

وكما في حالة المؤقتات، يوجد هناك عدادات داخل المتحكم المنطقي المبرمج تسمى عدادات حافظة (Retentive Counters) حيث تحتفظ هذه العدادات بالقيمة الحالية للعداد حتى عند انقطاع مصدر القدرة . وفي المتحكمات نوع LG-K10S يوجد 128 عداداً يمكن استخدامها وبرمجتها لتعمل على أي نوع من العدادات التي سنشرحها . وفيما يلي عناوين العدادات في جهاز LG-K10S :

عدد العدادات المتاحة : 128

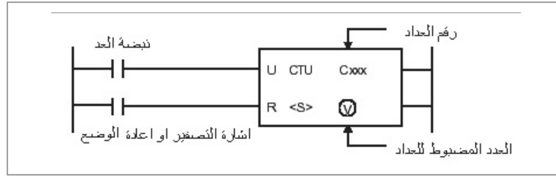
عناوين العدادات العادية : C000 – C095

عناوين العدادات الحافظة : C096 – C127

أنواع العدادات :

العداد التصاعدي (Up Counter) :

يبين الشكل (٤٦) كيفية برمجة هذا العداد . حيث إن الرمز (CTU) يحدد أن العداد ذا الرقم (--C) سوف يستخدم كعداد تصاعدي ، ويتم كذلك تحديد القيمة المضبوطة للعداد . ويعمل هذا العداد كما يلي :



الشكل (٤٦)

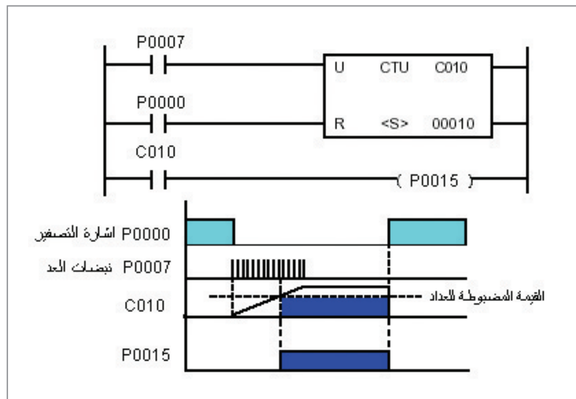
١- في البداية تكون القيمة الحالية للعداد مساوية للصفر .

٢- كلما وصل الطرف الصاعد لنبضة عد إلى مدخل العداد ، يتم زيادة القيمة الحالية بمقدار 1 .

٣- عندما تصل القيمة الحالية للعداد إلى القيمة المضبوطة ، يتحول خرج العداد إلى الحالة (ON) .

٤- بعد تحول خرج العداد إلى الحالة (ON) فإن القيمة الحالية للعداد تستمر في الزيادة بوصول الطرف الصاعد لنبضات العد حتى تصل إلى القيمة القصوى (65535) .

٥- عند إعطاء إشارة إعادة الوضع أو التصفير للعداد ، فإن خرج العداد يتحول إلى الحالة (OFF) كما ان القيمة الحالية للعداد تصبح مساوية للصفر .



الشكل (٤٧)

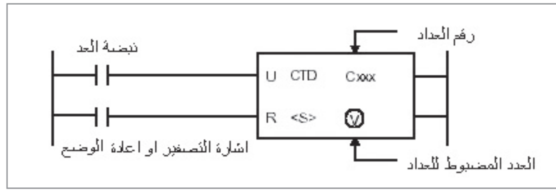
ويبين الشكل(٤٧) كيفية برمجة عداد تصاعدي رقمه (C010) لتشغيل مخرج (P0015) عند وصول نبضات عددها 10 إلى المدخل (P0007) . ويقوم المدخل (P0000) بإعطاء إشارة إعادة الوضع للمؤقت .

ويمكن كتابة قائمة الإجراءات (STL) للمخطط السلمي في الشكل أعلاه كما يلي :

قائمة الإجراءات (STL) :

Step	Command		
0	LOAD	P0007	
1	LOAD	P0000	
2	CTU	C010	00010
3	LOAD	C010	
4	OUT	P0015	
5	END		

العداد التنازلي (Down Counter) :



الشكل (٤٨)

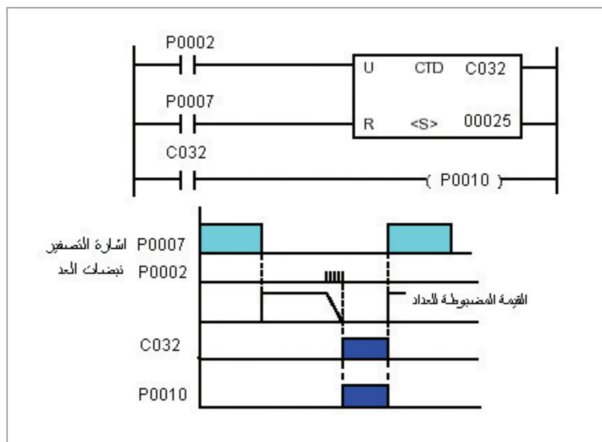
يبين الشكل (٤٨) كيفية برمجة هذا العداد . حيث إن الرمز (CTD) يحدد أن العداد ذا الرقم (--C) سوف يستخدم كعداد تنازلي ، ويتم كذلك تحديد القيمة المضبوطة للعداد . ويعمل هذا العداد كما يلي :

١- في البداية تكون القيمة الحالية للعداد مساوية للقيمة المضبوطة .

٢- كلما وصل الطرف الصاعد لنبضة عد إلى مدخل العداد، يتم انقاص القيمة الحالية بمقدار 1 .

٣- عندما تصل القيمة الحالية للعداد إلى الصفر ، يتحول خرج العداد إلى الحالة (ON) .

٤- عند إعطاء إشارة إعادة الوضع أو التصفير للعداد، فإن خرج العداد يتحول إلى الحالة (OFF) كما أن القيمة الحالية للعداد تصبح للقيمة المضبوطة للعداد .



الشكل (٤٩)

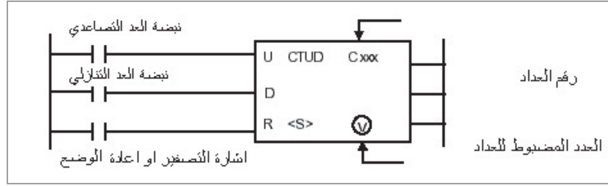
ويبين الشكل (٤٩) كيفية برمجة عداد تنازلي رقمة (C032) لتشغيل مخرج (P0010) عند وصول نبضات عددها 25 إلى المدخل (P0002) . ويقوم المدخل (P0007) بإعطاء إشارة إعادة الوضع للمؤقت .

ويمكن كتابة قائمة الإجراءات (STL) للمخطط السلمي في الشكل أعلاه كما يلي :

قائمة الإجراءات (STL) :

Step	Command		
0	LOAD	P0002	
1	LOAD	P0007	
2	CTD	C032	00025
3	LOAD	C032	
4	OUT	P0010	
5	END		

العداد التصاعدي التنازلي (Up-Down Counter) :



الشكل (٥٠)

يبين الشكل (٥٠) كيفية برمجة هذا العداد. حيث إن الرمز (CTUD) يحدد أن العداد ذا الرقم (C---) سوف يستخدم كعداد تصاعدي - تنازلي، ويتم كذلك تحديد القيمة المضبوطة للعداد. ويعمل هذا العداد كما يلي:

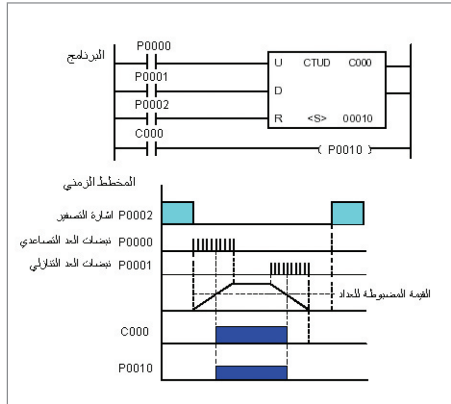
١- في البداية تكون القيمة الحالية للعداد مساوية للصفر.

٢- كلما وصل الطرف الصاعد لنبضة عد إلى مدخل العد التصاعدي، يتم زيادة القيمة الحالية بمقدار 1.

٣- كلما وصل الطرف الصاعد لنبضة عد إلى مدخل العد التنازلي، يتم انقاص القيمة الحالية بمقدار 1.

٤- إذا أصبحت القيمة الحالية للعداد مساوية أو أكبر من القيمة المضبوطة، يتحول خرج العداد إلى الحالة ON

٥- عند إعطاء إشارة إعادة الوضع أو التصفير للعداد، فإن خرج العداد يتحول إلى الحالة (OFF) كما أن القيمة الحالية للعداد تصبح مساوية للصفر.



الشكل (٥١)

ويبين الشكل (٥١) كيفية برمجة عداد تصاعدي - تنازلي رقمه (C000) لتشغيل مخرج (P0010) إذا كان الفرق بين النبضات الداخلة إلى مدخل العد التصاعدي وتلك الداخلة إلى مدخل العد التنازلي يساوي 10. ويقوم المدخل (P0002) بإعطاء إشارة إعادة الوضع للمؤقت.

ويمكن كتابة قائمة الإجراءات (STL) للمخطط السلمي في الشكل أعلاه كما يلي:

قائمة الإجراءات (STL):

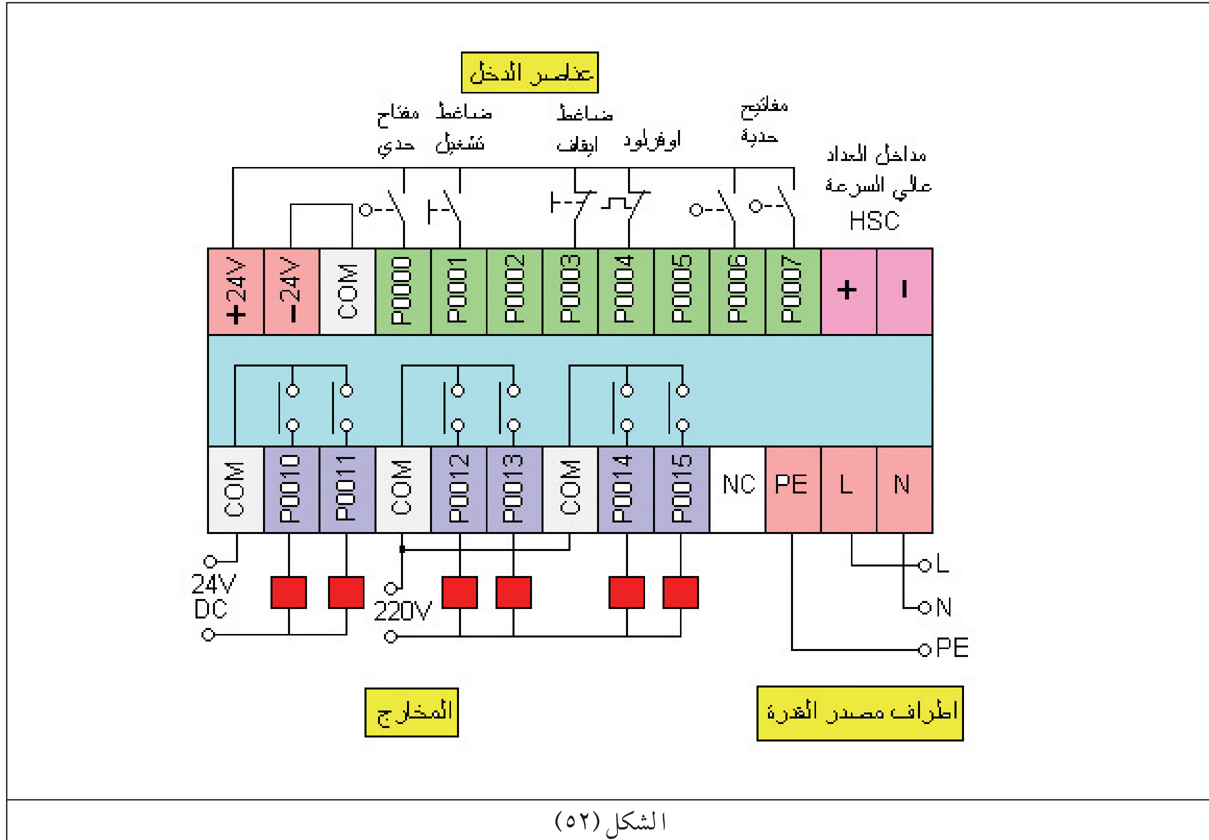
Step	Command		
0	LOAD	P0000	
1	LOAD	P0001	
2	LOAD	P0002	
3	CTUD	C000	00010
4	LOAD	C000	
5	OUT	P0010	
6	END		

تطبيقات باستخدام المتحكم المنطقي المبرمج (PLC)

يبين الشكل (٥٢) كيفية توصيل المتحكم المنطقي المبرمج مع عناصر الدخل وعناصر الخرج.
ويظهر أيضاً كيفية توصيل المفاتيح المختلفة مع وحدة الدخل بالاعتماد على مصدر القدرة الموجود في

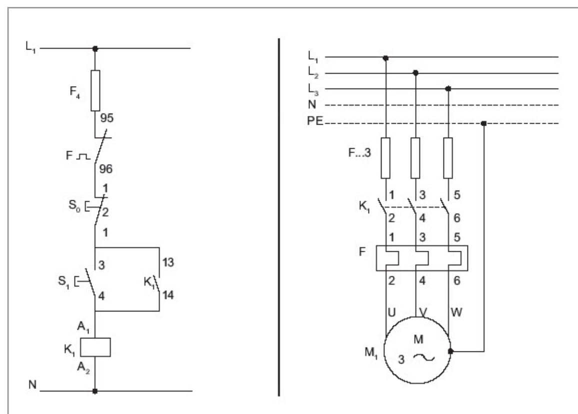
المتحكم .

وبما أن وحدة الخرج تحتوي على مرحلات يمكن تشغيل عناصر خرج (أو مرحلات) تعمل على جهود مختلفة مع الانتباه إلى استخدام نقاط مشتركة (COM) مختلفة في هذه الحالة .



الشكل (٥٢)

من الضروري الإشارة إلى أنه عند استخدام المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) للتحكم بعملية صناعية أو غيرها، فإن البرنامج الذي سوف يقوم بمهمة التحكم المطلوب قد يأخذ أكثر من شكل اعتمادا على الشخص الذي يقوم بعملية البرمجة . أي أننا قد نحصل على أكثر من شكل لبرنامج التحكم مع العلم أن جميعها تقوم بعملية التحكم المطلوبة مع مميزات خاصة لكل منها .



الشكل (٥٣)

تشغيل محرك ثلاثي الأطوار :

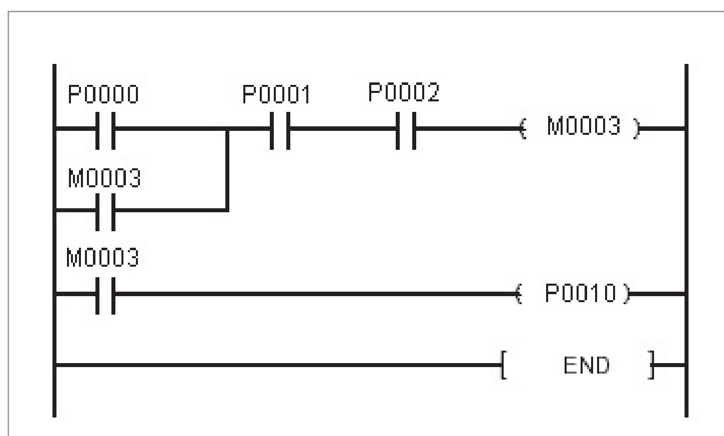
سبق أن قمنا بتركيب دارة التحكم والقدرة لتشغيل محرك ثلاثي الأطوار في التدريب العملي في الصف الحادي عشر الشكل (٥٣). ويكون المحرك ثلاثي الأطوار في كثير من الآلات الصناعية جزء من الآلة

التي قد تحتوي على أكثر من محرك يعتمد عملها على بعض ، وبالتالي فإن نظام التحكم للآلة يجب أن يتضمن التحكم بعمل وإطفائه وحمايته هذا المحرك ، مما قد يتطلب تنفيذ ذلك بواسطة جهاز التحكم المبرمج (PLC) في حال استخدامه للتحكم بالآلة .

قائمة التخصيص			
ملاحظات	الرمز	العنوان	
ضاغط تشغيل (NO)	S1	P0000	المداخل
ضاغط إيقاف (NC)	S0	P0001	
ملامس المرحل الحراري (الأوفرلود) (NC)	F	P0002	
ملف مفتاح تلامسي (كونتاكتور) تشغيل المحرك	K1	P0010	المخارج

المخطط السلمي : الشكل (٥٤)

ويمكن عدم استخدام المرحل الداخلي، وجعل مخرج الدرجة الأولى P0010 بدل M0003 .



الشكل (٥٤)

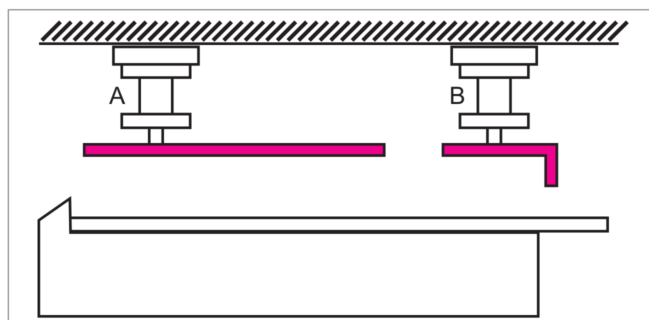
سؤال :

اكتب برنامج قائمة الإجراءات والمخطط الصندوقي الوظيفي اللازمين لتشغيل المحرك بالشكل المطلوب .

اكتب برنامج التحكم بعمل المحرك أعلاه باستخدام وظيفة الوضع وإعادة الوضع .

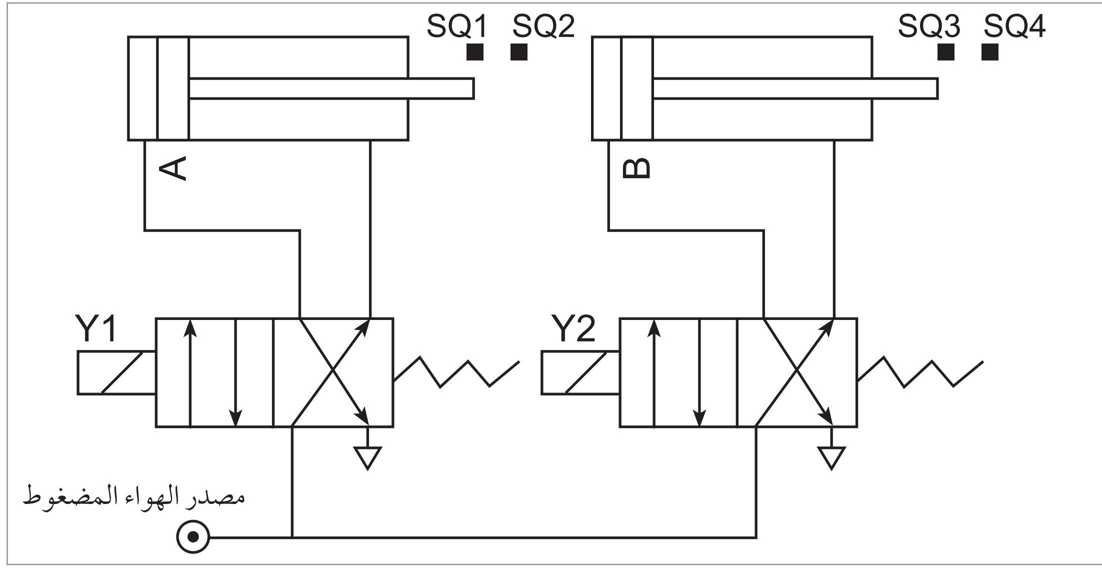
ماكنة ثني الصاج :

يبين الشكل (٥٥) تركيب ماكنة لثني الصاج على شكل حرف L بالإضافة إلى المخطط الهوائي للماكنة . وتتكون الآلة من أسطوانتين A ، B . فعند الضغط على ضاغط التشغيل تتقدم الأسطوانة



الشكل (٥٥-أ)

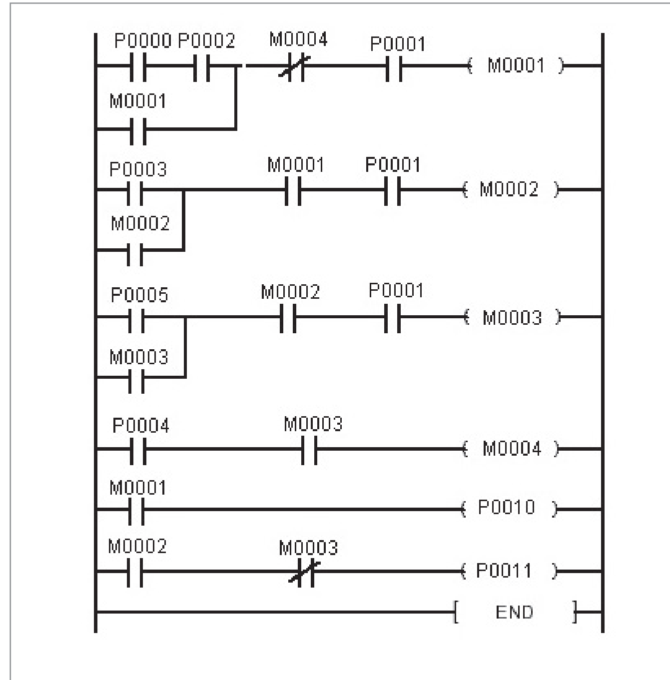
الأولى A في البداية لتقوم بتثبيت لوح الصاج، وعندما تصل إلى الوضع الأمامي يعمل المفتاح التلامسي SQ2 فتتقدم الأسطوانة الثانية لتقوم بثني لوح الصاج. وعندما تصل الأسطوانة الثانية إلى الوضع الأمامي يعمل المفتاح التلامسي SQ4 فتتراجع الأسطوانة B إلى الخلف. وعندما تصل الأسطوانة B إلى الوضع الخلفي يعمل المفتاح التلامسي SQ3 فتتراجع الأسطوانة A إلى الخلف أيضا، وتبقى هناك حتى يتم الضغط على ضاغط التشغيل مرة أخرى.



الشكل (٥٥-ب)

أما عند الضغط على ضاغط الإيقاف في أي لحظة فإن الأسطوانتين تتراجعان إلى الخلف فورا. ويبين الشكل (٥٦) أحد المخططات السلمية لتشغيل هذه الآلة مع الانتباه أن الصمامين المستخدمين للتحكم بعمل الأسطوانتين هما صمامان 3/2 بملف وزمبرك.

قائمة التخصيص			
	العنوان	الرمز	ملاحظات
المداخل	P0000	S1	ضاغط تشغيل (NO)
	P0001	S2	ضاغط إيقاف (NC)
	P0002	SQ1	مفتاح حدي (الأسطوانة A في الوضع الخلفي)
	P0003	SQ2	مفتاح حدي (الأسطوانة A في الوضع الأمامي)
	P0004	SQ3	مفتاح حدي (الأسطوانة B في الوضع الخلفي)
	P0005	SQ4	مفتاح حدي (الأسطوانة B في الوضع الأمامي)
المخارج	P0010	Y1	ملف صمام تحريك الأسطوانة A إلى الأمام
	P0011	Y2	ملف صمام تحريك الأسطوانة B إلى الأمام



الشكل (٥٦)

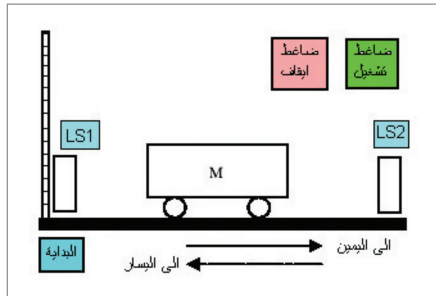
سؤال :

اكتب برنامج قائمة الإجراءات والمخطط الصندوقي الوظيفي اللازمين لتشغيل الآلة بالشكل المطلوب.

اكتب برنامج التحكم بعمل الآلة أعلاه باستخدام وظيفة الوضع وإعادة الوضع قدر الامكان.

عكس دوران محرك أوتوماتيكيا مع تأخير زمني :

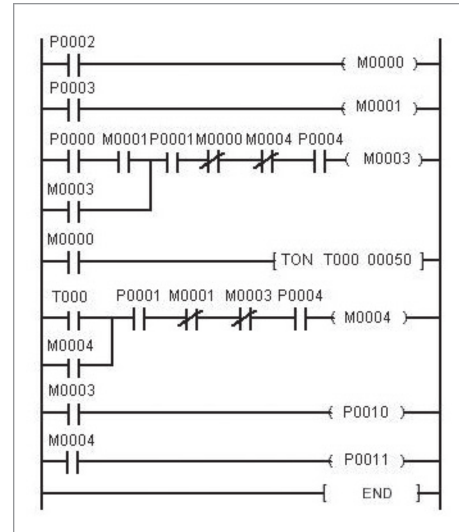
يراد التحكم بحركة عربة (الشكل ٥٧) بحيث إنه عندما تكون العربة في وضع البداية وعند الضغط على ضاغط التشغيل، يتحرك محرك العربه نحو اليمين حتى يصل المفتاح الحدي LS2 فيقف هناك لمدة ٥ ثوانٍ، ثم يعكس اتجاه دورانه ويتحرك نحو اليسار حتى يصل المفتاح الحدي LS1، فيقف هناك إلى أن يتم الضغط على ضاغط التشغيل مرة أخرى. وإذا تم الضغط على ضاغط الإيقاف في أي لحظة، فإن المحرك يقف في المكان الذي وصل إليه .



الشكل (٥٧)

قائمة التخصيص			
	العنوان	الرمز	ملاحظات
المداخل	P0000	S1	ضاغط تشغيل (NO)
	P0001	S2	ضاغط إيقاف (NC)
	P0002	LS1	مفتاح حدي على اليمين
	P0003	LS2	مفتاح حدي على اليسار
	P0004	F1	مرحل حراري (أوفرلود)
المخارج	P0010	K1	كونتاكتور تشغيل المحرك نحو اليمين
	P0011	K2	كونتاكتور تشغيل المحرك نحو اليسار
المؤقتات	T000	T1	مؤقت زمن وقوف العربة

المخطط السلمي : الشكل(٥٨)



الشكل (٥٨)

سؤال :

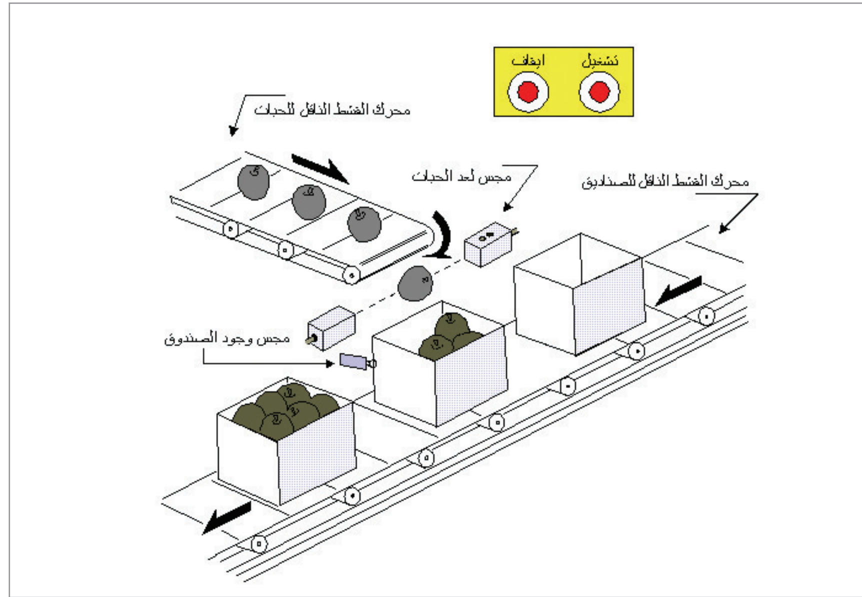
اكتب برنامج قائمة الإجراءات والمخطط الصندوقي الوظيفي اللازمين لتشغيل العربة بالشكل المطلوب.

عدل البرنامج بحيث يمكن تحريك العربة إلى اليمين وإلى اليسار بشكل يدوي بواسطة ضاغطي تشغيل يدويين (عمل متقطع) بالإضافة إلى التشغيل الآلي.

ارسم مخطط التوصيل مع المتحكم لتنفيذ الدارة أعلاه مع الأخذ بعين الاعتبار عدم إمكانية عمل كلا الكونتاكتورين في نفس الوقت بواسطة التلامسات المساعدة على الكونتاكتورين .

ماكنة تعبئة القطع :

يبين الشكل (٥٩) آلة لتعبئة الصناديق بعدد معين من القطع . عند الضغط على ضاغط التشغيل يعمل محرك القشط الناقل للصناديق إلى أن يعطي مجس وجود الصندوق إلى وجود صندوق في المكان المحدد . عند ذلك يتوقف محرك القشط الناقل للصناديق ، ويعمل محرك القشط الناقل للقطع . فتمر القطع إلى صندوق التعبئة من أمام مجس القطع . وعند اكتمال مرور العدد المطلوب من القطع (١٠) يتوقف القشط الناقل للقطع ويعمل القشط الناقل للصناديق . وتتكرر العملية إلى حين الضغط على ضاغط الإيقاف فتقف الآلة .



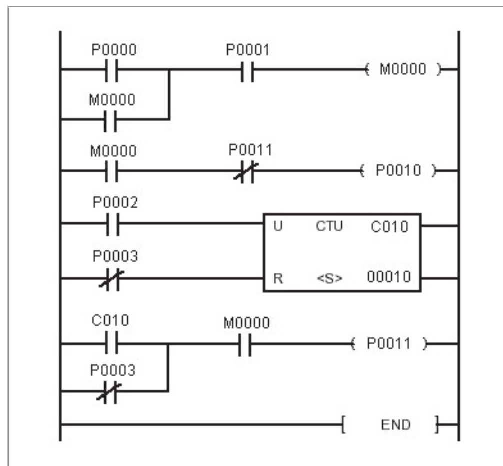
الشكل (٥٩)

قائمة التخصيص			
	العنوان	الرمز	ملاحظات
المداخل	P0000	S1	ضاغط تشغيل (NO)
	P0001	S2	ضاغط إيقاف (NC)
	P0002	LS1	مجس القطع (يعطي 1 عند مرور القطع)
	P0003	LS2	مجس الصناديق (يعطي 1 عند مرور الصناديق)
المخارج	P0010	K1	ملف كونتاكتور تشغيل محرك القشط الناقل للقطع .
	P0011	K2	ملف كونتاكتور تشغيل لمحرك القشط الناقل للصناديق
العدادات	C000	CNT	عداد القطع

ويبين الشكل (٦٠) البرنامج المطلوب لتنفيذ ذلك على شكل مخطط سلمي .

سؤال :

هل تقف الآلة فوراً عند الضغط على ضاغط الإيقاف؟ ما رأيك .



الشكل (٦٠)

أسئلة الوحدة:

س١ : عرف المتحكم المنطقي المبرمج (PLC)، واشرح مبدأ عمله باختصار .

س٢ : عدد العناصر الأساسية للمتحكم المنطقي المبرمج .

س٣ : عدد الأجزاء الأساسية لجهاز المتحكم المنطقي المبرمج (PLC) .

س٤ : عدد الأنواع الشائعة لجهاز المتحكم المنطقي المبرمج واشرح تركيب كل منها باختصار .

س٥ : اذكر وظائف وحدات الدخل في المتحكم المنطقي المبرمج .

س٦ : ارسم الدارة الإلكترونية لوحدة دخل رقمية واشرح عملها باختصار .

س٧ : عدد بعض أنواع وحدات الإدخال التمثيلية في أجهزة المتحكم المنطقي المبرمج .

س٨ : عدد أنواع وحدات الخرج الرقمية في جهاز المتحكم المنطقي المبرمج واشرح كلاً منها باختصار .

س٩ : أعط مثالاً لوحدة خرج خاصة في أجهزة المتحكم المنطقي المبرمج مبيناً المهمات التي تقوم بها وأثر ذلك على عمل المتحكم .

س١٠ : وضح تركيب وحدة المعالجة في المتحكم المنطقي المبرمج .

س١١ : اذكر وظيفة بعض أزرار التشغيل الموجود في بعض أنواع وحدات المعالجة المركزية .

س١٢ : اذكر وظائف بعض مصابيح البيان (الثنائيات المشعة للضوء) الموجودة على الواجهة الأمامية لوحدة المعالجة في المتحكم المنطقي المبرمج .

س١٣ : اذكر أنواع الذاكرة المستخدمة في المتحكمات المنطقية مع الشرح المختصر .

س١٤ : عدد بعض البرامج أو الوظائف الحيوية التي يتم حجز حيز لها في ذاكرة المتحكم المنطقي المبرمج .

س١٥ : اذكر فوائد استخدام أجهزة المتابعة والتعديل (HMI) مع المتحكمات المنطقية المبرمجة .

س١٦ : اذكر أنواع المبرمجات المستخدمة لبرمجة المتحكم المنطقي المبرمج مع الشرح المختصر لكل منها .

س١٧ : اشرح خطوات عملية المسح في جهاز المتحكم المنطقي المبرمج بالاستعانة بالرسم .

س١٨ : عدد أنواع طرق البرمجة المستخدمة لبرمجة المتحكم المنطقي المبرمج .

س١٩ : اذكر سبعاً من مميزات المتحكم المنطقي المبرمج على دارات التحكم التقليدية .

س٢٠ : ارسم المخطط السلمي، واكتب قائمة الإجراءات لكل من الحالات التالية :

افرض أن عنوان المفتاح الحدي P0000=LSI، عنوان المفتاح الحدي P0001=LS2، والصمام (Y1) = P0010 .

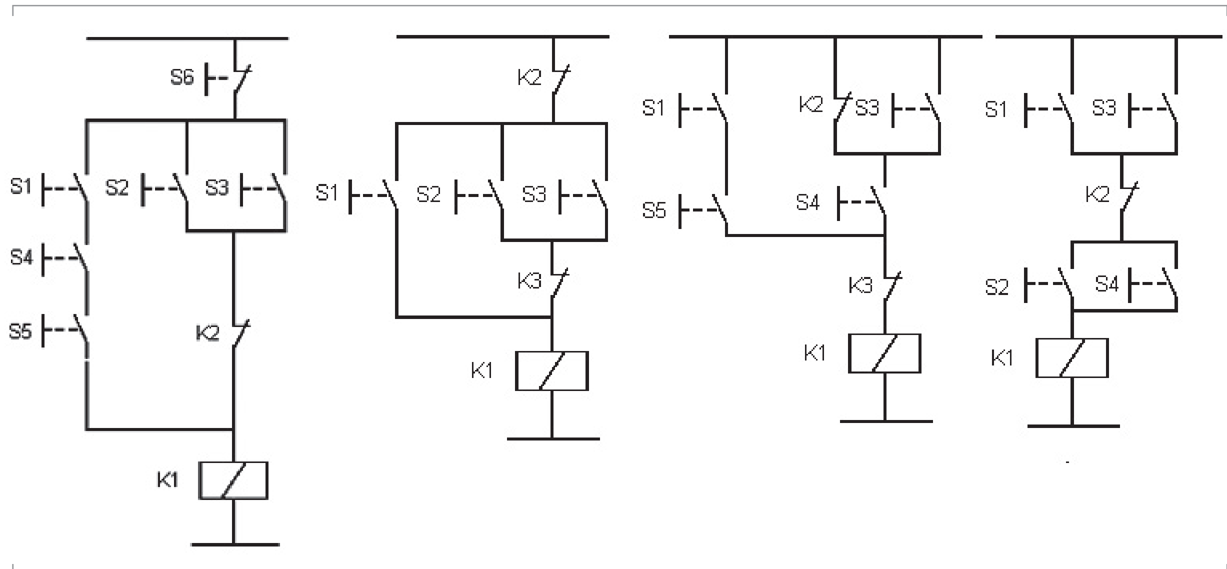
أ- إذا عمل كل من LS1 و LS2 في نفس الوقت فإن الصمام Y1 يعمل .

ب- إذا عمل LS1 بينما لم يعمل LS2 فإن الصمام Y1 يعمل .

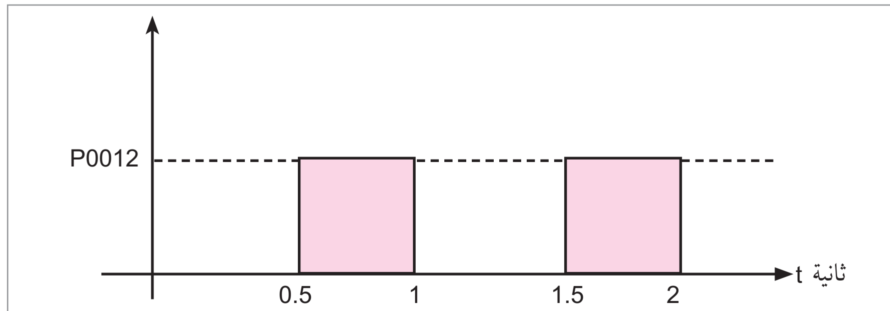
جـ- إذا عمل LS1 فإن الصمام (Y1) يعمل ويستمر في العمل حتى لو عاد LS1 إلى حالة الفصل يتحول الصمام إلى حالة الإطفاء عند عمل LS2 .

د- إذا عمل LS1 فإن الصمام (Y1) يعمل ويستمر في العمل حتى لو تحول LS1 إلى حالة الفصل . يتحول الصمام إلى حالة الإطفاء عند تحول LS2 إلى حالة الفصل .

س٢١ : ارسم المخطط السلمي، واكتب قائمة الإجراءات والمخطط الصندوقي الوظيفي للمخططات الكهربائية التالية :



س٢٢ : يراد تشغيل المخرج P0012 بشكل متقطع حسب المخطط الزمني المرفق . وذلك عند تشغيل المدخل P0000 . ارسم المخطط السلمي، واكتب قائمة الإجراءات التي تحقق ذلك .



س٢٣ : يراد استبدال ريشة مقدح إلى كل 100 ساعة من العمل . اكتب برنامجاً بحيث يضيء المخرج P0015

بعد مرور الزمن المطلوب . افترض إشارة عمل المقدح P0000، إشارة التصفير P0001 .

س٢٤ : يبين الشكل دارة التحكم في بادئ ستار – دلتا ، ارسم المخطط السلمي وقائمة الإجراءات اللازمة لتشغيل الدارة .

